

В.Г. Борисов
В.В.Фролов

Измерительная лаборатория начинающего радиолюбителя

Издательство «Радио и связь»



Основана в 1947 году
Выпуск 1175

В.Г. Борисов
В.В.Фролов

Измерительная лаборатория начинающего радиолюбителя

2-е издание
переработанное и дополненное



Москва
«Радио и связь» 1992

ББК 32.84
Б82
УДК 621.317.7:001.92

Борисов В. Г., Фролов В. В.

Б82 Измерительная лаборатория начинающего радиолюбителя.—2-е изд., перераб. и доп.— М.: Радио и связь, 1992.— 128 с.: ил.—(Массовая радиобиблиотека; Вып. 1175).

ISBN 5-256-00767-X.

Рассказывается о принципах и практике электрических измерений, самостоятельном конструировании простых измерительных приборов, необходимых при подборе радиодеталей, монтаже, испытании и налаживании различных радиотехнических устройств, и работе с ними. Учтены замечания и пожелания, высказанные читателями по первому изданию, вышедшему в 1976 г., комплект измерительных приборов дополнен частотомером, испытатель транзисторов заменен улучшенным вариантом, усовершенствован сетевой блок питания лаборатории.

Для широкого круга радиолюбителей.

Б $\frac{2302020200\text{-}012}{046(01)\text{-}92}$ 21-92 **ББК 32.84**

Научно-популярное издание

Массовая радиобиблиотека. Вып. 1175

Борисов Виктор Гаврилович, **Фролов** Владимир Васильевич

Измерительная лаборатория начинающего радиолюбителя

Руководитель группы МРБ И. Н. Суслова
Редактор И. Н. Суслова
Художественный редактор Н. С. Шеин
Технический редактор Г. З. Кузнецова
Корректор З. Г. Галушкина

ИБ № 2304

Сдано в набор 11.03.91. Подписано в печать 05.11.91. Формат 60×90 1/16. Бумага тип. № 2. Гарнитура литерат. Печать высокая. Усл. печ. л. 8,0. Усл. кр.-отт. 8,25. Уч.-изд. л. 10,42.

Тираж 45 000 экз. Изд. № 23161. Заказ № 1437. С-012.
Издательство «Радио и связь». 101000, Москва, Почтамт, а/я 693.

Областная ордена «Знак Почета» типография им. Смирнова Смоленского облуправления издательств, полиграфии и книжной торговли, 214000, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарина, 2.

ISBN 5-256-00767-X

Введение

В подавляющем большинстве случаев радиолюбительское конструирование начинается с постройки сравнительно простых радиоприемников и усилителей колебаний звуковой частоты. На этом начальном этапе часто можно обойтись без измерительных приборов. Если детали исправны и нет ошибок в монтаже, то устройство будет работать, хотя, возможно, и не с полной отдачей. Затем радиолюбителя влечет конструкция посложнее, потом еще сложнее. Чтобы качество работы таких конструкций отвечало предъявляемым к ним требованиям, обойтись без измерительных приборов уже нельзя. Без них трудно, а часто просто невозможно хорошо наладить и правильно оценить достоинства и недостатки сконструированной радиоаппаратуры.

В этой книге описываются самодельные измерительные приборы первой необходимости. В комплект, образующий радиолюбительскую лабораторию, входят следующие приборы: авометр — комбинированный прибор для измерения постоянного тока, постоянных и переменных напряжений и сопротивлений; испытатель маломощных транзисторов, позволяющий измерять основные параметры низкочастотных и высокочастотных транзисторов структур n-p-n и p-n-p; транзисторные вольтметры постоянного и переменного токов с относительно большими входными сопротивлениями; измеритель RCL — прибор для измерения сопротивления, емкости и индуктивности; генератор сигналов звуковой частоты; генератор сигналов радиочастоты; частотомер синусоидальных и пульсирующих напряжений звукового диапазона; блок выпрямителей для питания от сети переменного тока приборов комплекта и налаживаемых конструкций.

Все названные приборы имеют однотипное конструктивное и внешнее оформление. Испытатель транзисторов, оба транзисторных вольтметра и частотомер выполнены в виде приставок к авометру, микроамперметр которого используется для оценки измеряемых электрических величин. Генератор сигналов звуковой частоты служит для испытания, налаживания и измерения основных параметров усилителей звуковой частоты или аналогичных им трактов радиовещательных приемников. Генератор сигналов радиочастоты предназначен для испытания и налаживания радиочастотных трактов приемников прямого усиления и супергетеродинов. Соединенные между собой, эти генераторы могут использоваться как источник амплитудно-модулированных радиочастотных сигналов.

Одна из глав книги знакомит читателей с устройством и работой электронно-лучевого осциллографа, являющегося наиболее универсальным измерительным прибором. Помимо качественной оценки исследуемых колебаний с помощью осциллографа можно измерить ряд их параметров: максимальные и мгновенные значения напряжений и токов, длительность и частоту следования импульсов, девиацию частоты, фазовый сдвиг сигналов и т. д.

Комплект самодельных измерительных приборов, вошедших в лабораторию, не содержит дефицитных радиодеталей, сложных узлов и может быть повторен в домашних условиях. Специальная глава книги посвящена технологии изготовления описываемых конструкций. Само же конструирование приборов расширит круг теоретических знаний и практических навыков радиолюбителя, повысит его техническую культуру.

ЗНАКОМСТВО С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ

Приборы магнитоэлектрической системы

Для непосредственного отсчета значений токов, напряжений и сопротивлений в измерительных приборах, например в авометрах, используют стрелочные измерители тока. Виды измерений при этом разные, а индикатор, по отклонению стрелки которого оценивают ту или иную электрическую величину, один. В качестве таких индикаторов обычно используют приборы так называемой магнитоэлектрической системы, обладающие по сравнению с электроизмерительными приборами других систем более высокой чувствительностью и имеющие равномерную шкалу.

Внешний вид одного из приборов магнитоэлектрической системы — микроамперметра М24 и схематическое устройство измерительного механизма этой системы показаны на рис. 1. Основным элементом измерительного механизма является рамка. Ее обмотка намотана изолированным проводом на прямоугольном каркасе из тонкого картона, пропитанного лаком, или фольги. Удерживаясь на полуосях — кернах, рамка может поворачиваться в зазоре между полюсами сильного постоянного магнита и цилиндрическим сердечником. В этом зазоре создается равномерное магнитное поле, являющееся непременным условием равномерности шкалы прибора. На рамке закреплена легкая стрелка. Выводами обмотки рамки служат тонкие спиральные пружины, удерживающие ее в исходном положении, при котором стрелка находится напротив нулевой отметки шкалы.

Когда в обмотке рамки появляется постоянный ток, вокруг нее возникает магнитное поле, которое вступает во взаимодействие с магнитным полем постоянного магнита. При этом рамка стремится повернуться на полуосях так, чтобы полюсы ее магнитного поля оказались напротив полюсов постоянного магнита противоположной полярности. Чем больше ток, текущий через рамку, тем сильнее ее магнитное поле, тем больше усилие, поворачивающее ее, а вместе с ней и стрелку вокруг оси. Как только ток в рамке и ее магнитное поле исчезают, рамка со стрелкой возвращается в исходное (нулевое) положение. Таким образом, магнитоэлектрический прибор является ни чем иным, как преобразователем постоянного тока в механическое усилие, поворачивающее рамку. О силе этого тока судят по углу поворота рамки.

Независимо от типа прибор магнитоэлектрической системы является измерителем только постоянного (или постоянной составляющей пульсирующего) тока. Чтобы он стал измерителем переменных токов и напряжений, а также сопротивлений, эти измеряемые величины необходимо предварительно преобразовать в пропорциональные им постоянные или пульсирующие токи.

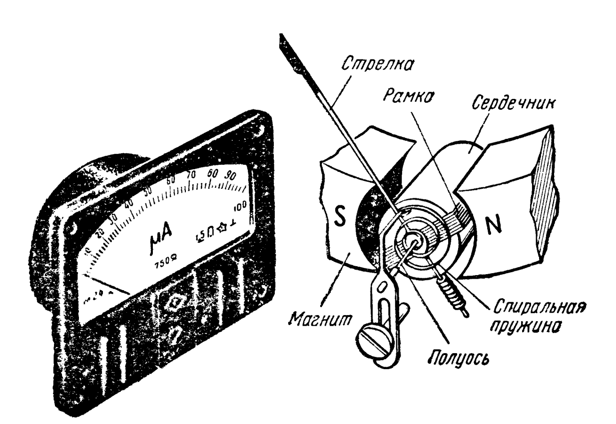


Рис. 1. Магнитоэлектрический прибор М24 и устройство его измерительного механизма



Рис. 2. Символические обозначения на шкалах электроизмерительных приборов

Достаточно полную информацию о приборе дают символические обозначения на его шкале. Изображение подковообразного магнита с зачерненным прямоугольником между его полюсами (рис. 2, а) — это обозначение прибора магнитоэлектрической системы с подвижной рамкой. Рядом — прямая горизонтальная черточка, говорящая о том, что прибор предназначен для измерения постоянного тока. Число внутри пятиконечной звезды (рис. 2, б) указывает максимально допустимое испытательное напряжение (в киловольтах), которое может выдержать изоляция прибора.

Еще одно число характеризует класс точности прибора. Класс точности — это численное значение наибольшей возможной погрешности прибора, выраженное в процентах от конечного (наибольшего) значения шкалы. Например, микроамперметр на ток 100 мкА класса точности 1,5 при измерении может дать ошибку 1,5 мкА (1,5% от 100 мкА). Для радиолюбительских измерений можно использовать микроамперметры классов точности 1—2,5.

На шкале прибора может быть изображен и знак в виде двух взаимно перпендикулярных линий (рис. 2, в) или П-образной скобы. Первый из них указывает на то, что прибор предназначен для работы в вертикальном положении, второй — в горизонтальном. Если же этих знаков нет, прибор может работать как при вертикальном, так и при горизонтальном положениях шкалы.

Существуют два основных электрических параметра, по которым судят о возможном применении прибора: ток полного отклонения стрелки $I_и$, т. е. ток, при котором стрелка отклоняется до конечной отметки шкалы, и сопротивление рамки $R_и$. О значении первого из этих параметров говорит сама шкала. Так, если это микроамперметр (в центре шкалы — буквы μА) и возле конечной отметки шкалы стоит число 100, то ток полного отклонения стрелки равен 100 мкА. Значение второго параметра, выраженное в омах, часто указывают в средней части шкалы. Чем меньше ток полного отклонения стрелки, тем, как правило, больше сопротивление рамки прибора.

В распоряжении радиолюбителя может оказаться прибор магнитоэлектрической системы, использовавшийся ранее в вольтметре или амперметре перемен-

ного тока, частотомере или каком-либо другом измерительном приборе. Если основные параметры прибора ($I_и$ и $R_и$) соответствуют заданным, такой прибор также можно использовать для измерительной лаборатории радиолюбителя.

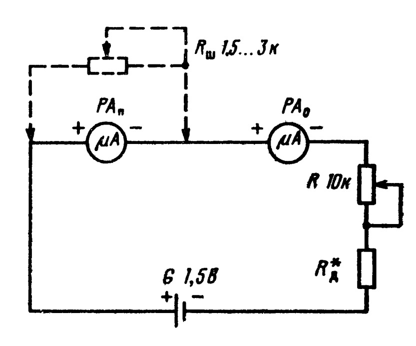


Рис. 3. Схема измерения основных параметров прибора магнитоэлектрической системы

Измерить параметры $I_и$ и $R_и$ неизвестного прибора можно по схеме, изображенной на рис. 3. Для этого потребуются: образцовый микроамперметр $PA_о$ (желательно класса 0,1—0,5, в крайнем случае — авометр, включенный на предел измерения тока до 1...10 мА), переменный резистор R сопротивлением 5...10 кОм, гальванический элемент 332 или 343 и постоянный резистор, называемый в данном случае добавочным. Роль добавочного резистора $R_д$ весьма ответственная: он должен ограничивать ток в цепи, в которую включается неизвестный (проверяемый) прибор, и тем самым защищать его от перегрузок.

Если при подключении источника питания ток в цепи окажется значительно больше тока $I_и$ проверяемого прибора, то его стрелка, резко отклоняясь за пределы шкалы, может погнуться, а если ток очень большой, то может сгореть обмотка рамки.

Сопротивление добавочного резистора можно рассчитать, пользуясь законом Ома ($I=U/R$). Поначалу для страховки следует полагать, что $I_и$ проверяемого прибора не превышает 50 мкА. Тогда при напряжении источника питания 1,5 В (один элемент G) сопротивление добавочного резистора должно быть около 30 кОм ($R_д=U/I=1,5$ В/0,00005 А$=30$ кОм).

Проверяемый измерительный прибор $PA_п$, образцовый микроамперметр $PA_о$, переменный резистор R и добавочный резистор $R_д$ соединяют последовательно. Проверив, нет ли ошибки в полярности соединения зажимов приборов, устанавливают движок переменного резистора R в положение, соответствующее наибольшему сопротивлению (по схеме — крайнее нижнее), и только после этого включают в цепь гальванический элемент G. Стрелки обоих приборов должны отклониться. По мере уменьшения введенного в цепь сопротивления переменного резистора R стрелки приборов будут удаляться от нулевых отметок шкал. Заменяя добавочный резистор резисторами меньших номиналов и изменяя движком сопротивление переменного резистора, надо создать в цепи такой ток, при котором стрелка проверяемого прибора установится точно напротив конечной отметки шкалы. Значение этого тока, отсчитанное по шкале образцового микроамперметра, и будет током $I_и$ проверяемого прибора.

Затем параллельно проверяемому прибору подключают шунтирующий его переменный резистор $R_ш$ (на рис. 3 показан штриховыми линиями) сопротивлением 1,5...3 кОм и с его помощью добиваются, чтобы ток через проверяемый прибор $PA_п$ уменьшился вдвое. При этом общее сопротивление измерительной цепи несколько уменьшится, а ток увеличится. Затем с помощью переменного резистора R устанавливают по образцовому микроамперметру начальный ток в цепи, а резистором $R_ш$ добиваются того, чтобы стрелка прибора $PA_п$ установилась точно напротив средней отметки шкалы. Тогда $R_и$ проверяемого прибора

будет равно сопротивлению введенной части резистора $R_ш$. Это сопротивление измеряют омметром

Желательно, чтобы ток $I_и$ микроамперметра, используемого для приборов описываемой лаборатории, был не более 200 мкА, а его шкала — возможно большей С таким прибором удобнее работать, у него выше точность отсчета показаний. Относительно малый ток $I_и$ и достаточно большую шкалу имеют, например, микроамперметры М24, М265, М900 и некоторые другие.

Измерение токов

Для измерения тока, текущего в электрической цепи, измерительный прибор PA включают последовательно (рис. 4), т. е. в разрыв цепи, чтобы через прибор шел весь измеряемый ток. При этом надо помнить, что измеряемый ток не должен превышать тока полного отклонения стрелки измерительного прибора $I_и$, иначе стрелка будет «зашкаливать», измерения станут невозможными и даже опасными — измерительный механизм прибора может выйти из строя.

Для измерения тока, превышающего ток $I_и$ прибора, параллельно ему включают резистор $R_ш$ (рис. 5). В этом случае измеряемый ток идет не только через измерительный прибор PA, например микроамперметр, но и через резистор $R_ш$, называемый в данном случае *шунтом*, причем доля тока, протекающего через него, тем больше, чем меньше его сопротивление по сравнению с сопротивлением рамки прибора $R_и$. В результате ток через измерительный прибор уменьшается и стрелка прибора отклоняется на меньший угол.

Сопротивление шунта $R_ш$, зависящее от выбранного предела измерения и параметров измерительного прибора, рассчитывают по формуле

$$R_ш = \frac{R_и}{I_п/I_и - 1},$$

где $I_п$ — выбранный предел измерения. Электрические величины, подставляемые в формулу, должны быть выражены в вольтах (В), амперах (А) и омах (Ом).

Предположим, имеется микроамперметр М24 с такими (округленными для упрощения расчета) параметрами: $I_и = 100$ мкА (0,0001 А), $R_и = 1000$ Ом. Каково должно быть сопротивление шунта, чтобы таким прибором можно было измерять токи до 100 мА (0,1 А)?

$$R_ш = \frac{R_и}{I_п/I_и - 1} = \frac{1000}{0{,}1/0{,}0001 - 1} \approx 1 \text{ Ом}.$$

Чтобы с помощью одного и того же микроамперметра можно было измерять токи, различающиеся в сотни и тысячи раз, к нему надо подключать

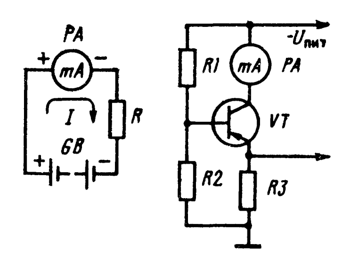


Рис. 4. Схемы измерения силы тока в электрических цепях

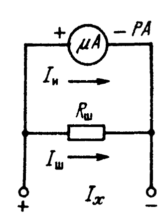


Рис. 5. Измерительный прибор с шунтом

шунты разных сопротивлений (точнее, прибор к различным шунтам, так как первым в цепь должен включаться шунт, а к нему уже подключаться измерительный прибор, а не наоборот). Получится многопредельный измеритель тока.

Для превращения микроамперметра в многопредельный измеритель тока чаще используют не отдельные шунты, а один общий ступенчатый шунт с отводами. Такой шунт называют *универсальным.*

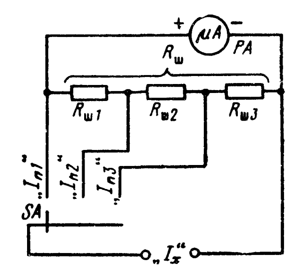


Рис. 6. Принципиальная схема трехпредельного измерителя тока с универсальным шунтом

Возможная схема трехпредельного измерителя тока с универсальным шунтом изображена на рис. 6. Универсальный шунт $R_ш$ образован резисторами $R_{ш1}$ — $R_{ш3}$, соединенными между собой последовательно. Переход с одного предела измерений на другой осуществляется переключателем SA. Его положение «$I_{п1}$» соответствует первому, наименьшему пределу измерений, «$I_{п2}$»— второму, «$I_{п3}$»— третьему, наибольшему пределу измерений. Прибор включают в цепь измеряемого тока с помощью щупов, подключаемых к зажимам «I_x».

Резисторы, составляющие универсальный шунт, можно рассчитать так, чтобы второй предел измерений был в 10 раз больше первого предела, третий — в 10 раз больше второго и т. д. В этом случае отсчет измеряемых токов ведут по одной, общей для всех пределов шкале. Изменяется только цена ее делений в соответствии с установленным пределом измерений.

Допустим, в измерителе тока, выполненном по схеме, показанной на рис. 6, применен микроамперметр с теми же параметрами ($I_и$=100 мкА, $R_и$=1000 Ом), что и в предыдущем примере. Прибор должен быть рассчитан на измерение токов: на первом пределе («$I_{п1}$») — до 1 мА, на втором («$I_{п2}$») — до 10 мА, на третьем («$I_{п3}$»)— до 100 мА.

Сначала рассчитывают общее сопротивление шунта, соответствующее первому пределу измерений. Делают это по вышеприведенной формуле. Для нашего примера полное сопротивление универсального шунта

$$R_ш=\frac{R_и}{I_{п1}/I_и-1}=\frac{1000}{0{,}001/0{,}0001-1}=111{,}1 \text{ Ом}.$$

Для упрощения расчета общее сопротивление шунта можно округлить до 110 Ом. После этого рассчитывают сопротивление резисторов, составляющих шунт, начиная с резистора наибольшего предела измерений:

$$R_{ш3}=\frac{I_и}{I_{п3}}(R_ш+R_и)=\frac{0{,}0001}{0{,}1}\cdot 1110=1{,}1 \text{ Ом};$$

$$R_{ш2}=\frac{I_и}{I_{п2}}(R_ш+R_и)-R_{ш3}=\frac{0{,}0001}{0{,}01}\cdot 1110-1{,}1=10 \text{ Ом};$$

$$R_{ш1}=\frac{I_и}{I_{п1}}(R_ш+R_и)-R_{ш2}-R_{ш3}=\frac{0{,}0001}{0{,}001}\cdot 1110-10-1{,}1=99{,}9 \text{ Ом}.$$

В таком же порядке можно рассчитать шунт на другие пределы измерений, а также на любое их число и для приборов с другими значениями параметров $I_и$ и $R_и$. Сопротивление универсального шунта, как бы точно он ни был рас-

считан, при калибровке прибора обязательно приходится подгонять под выбранные пределы измерений.

Принципиально так же работают и измерители переменного тока, выполненные на базе приборов магнитоэлектрической системы, только в них переменный ток предварительно выпрямляется.

Радиолюбителю, особенно начинающему, очень редко приходится сталкиваться с необходимостью измерения переменного тока, поэтому этот вид измерений и не предусмотрен в приборах описываемой лаборатории.

Измерение напряжений

Для измерения напряжения источника питания, падения напряжения на резисторе или каком-либо участке электрической цепи вольтметр подключают параллельно, как показано на рис. 7. Однако если в качестве вольтметра используется прибор магнитоэлектрической системы, то измерять им можно только очень малые напряжения. В самом деле, ведь для того, чтобы стрелка прибора отклонилась на всю шкалу, достаточно напряжения всего несколько десятых долей вольта. Для прибора с током полного отклонения $I_и=100$ мкА и сопротивлением рамки $R_и=1000$ Ом это напряжение

$$U_и=I_иR_и=0{,}0001\cdot1000=0{,}1\ \text{В},$$

поэтому подключать такой прибор к участкам цепи с бóльшим напряжением нельзя — можно испортить прибор. Для расширения пределов измерений последовательно с прибором включают *добавочный* резистор, гасящий избыточное напряжение, а чтобы прибором можно было измерять напряжения, различающиеся в десятки, сотни и тысячи раз, используют добавочные резисторы разных сопротивлений.

В качестве примера на рис. 8 приведена схема трехпредельного вольтметра постоянного тока. Вместе с добавочным резистором $R_{д1}$ микроамперметр PA образует измерительную цепь первого, с резистором $R_{д2}$ — второго, с резистором $R_{д3}$ — третьего пределов. С одного предела на другой прибор переключают переключателем SA.

Сопротивление добавочного резистора каждого предела измерений рассчитывают по формуле

$$R_д=\frac{U_п}{I_и}-R_и,$$

где $U_п$ — напряжение выбранного предела измерений.

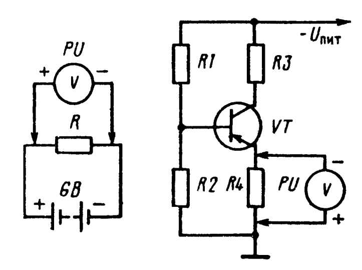


Рис. 7. Схема подключения вольтметра к проверяемому участку электрической цепи

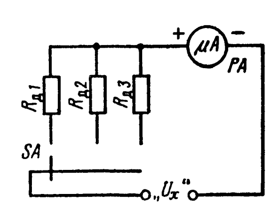


Рис. 8. Принципиальная схема трехпредельного вольтметра постоянного тока

Предположим, вольтметр, выполненный по схеме, показанной на рис. 8, должен иметь пределы измерений 1, 5 и 10 В. Параметры мироамперметра РА те же: $I_и=100$ мкА, $R_и=1000$ Ом. В этом случае:

$$R_{д1}=\frac{1}{0{,}0001}-1000=9 \text{ кОм};$$

$$R_{д2}=\frac{5}{0{,}0001}-1000=49 \text{ кОм};$$

$$R_{д3}=\frac{10}{0{,}0001}-1000=99 \text{ кОм}.$$

Важнейший параметр вольтметра — его *входное сопротивление.* Оно слагается из сопротивления рамки измерительного прибора и сопротивления добавочного резистора данного предела измерений. Чем больше входное сопротивление вольтметра по сравнению с сопротивлением участка цепи, на котором надо измерить напряжение, тем точнее будут результаты измерения. Входное сопротивление только что рассчитанного вольтметра будет: на первом пределе («$U_{п1}$») — 10 кОм, на втором («$U_{п2}$») — 50 кОм, на третьем («$U_{п3}$») — 100 кОм. Из сравнения пределов измерений и входных сопротивлений вольтметра видно, что на каждый вольт напряжения любого предела измерений приходится одно и то же входное сопротивление 10 кОм. По этой причине вольтметры оценивают еще величиной *относительного входного сопротивления*, приходящегося на 1 В предельного напряжения. Относительное входное сопротивление вольтметра, рассчитанное здесь в качестве примера, равно 10 кОм/В. Нетрудно заметить, что относительное входное сопротивление вольтметра целиком зависит от параметров примененного микроамперметра. Чем меньше его ток полного отклонения стрелки, тем больше относительное входное сопротивление вольтметра, построенного на его основе, и наоборот.

Шкала вольтметра постоянного тока, как и шкала миллиамперметра или амперметра магнитоэлектрической системы, равномерная, поэтому для отсчета измеряемых постоянных токов и напряжений можно пользоваться одной общей шкалой.

Чтобы один и тот же микроамперметр можно было использовать для измерения как постоянного, так и переменного токов, в прибор вводят выпрямитель. Для примера на рис. 9, а приведена схема однопредельного вольтметра переменного тока с однополупериодным выпрямителем. Функции выпрямителя выполняет диод VD1. При положительной полуволне напряжения на левом (по схеме) входном зажиме «$\sim U_x$» ток течет через добавочный резистор $R_д$, диод VD1 и микроамперметр РА. При изменении полярности измеряемого напряжения диод VD1 закрывается и ток идет через диод VD2, минуя микроамперметр. Таким образом, через микроамперметр течет ток, пульсирующий с частотой измеряемого переменного напряжения. Избыточное напряжение гасит добавочный резистор $R_д$. Сколько пределов измерений, столько нужно и добавочных резисторов (рис. 9, б).

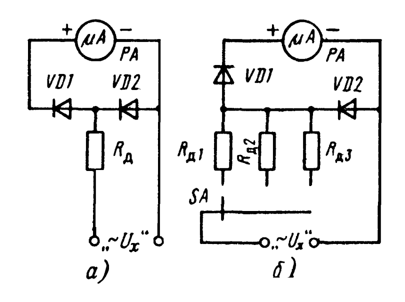


Рис. 9. Схемы вольтметров переменного тока

Шкалы вольтметра переменного тока не совпадают со шкалами постоянного тока. Объясняется это тем, что вольт-амперные характеристики диодов, используемых в выпрямителях, нелинейны, особенно при небольших напряжениях. Поэтому ток через магнитоэлектрический прибор не прямо пропорционален измеряемым переменным напряжениям.

Показания вольтметров, содержащих выпрямители, зависят и от частоты измеряемых токов. При токах низких звуковых частот стрелка магнитоэлектрического прибора заметно колеблется, так как через него течет пульсирующий ток, и в промежутках между импульсами она под действием возвратных пружин успевает повернуться на небольшой угол в направлении нулевого положения. При измерении токов более высокой частоты возникает шунтирование p-n переходов полупроводниковых диодов емкостями этих переходов, в результате чего выпрямленный ток и показания прибора уменьшаются. Это явление сказывается при измерении токов всех частот, и если говорить строго, то градуировка шкалы соответствует только значениям тока той частоты, на которой она была произведена.

Расчет сопротивлений добавочных резисторов вольтметров переменного тока отличается от расчета подобных резисторов прибора для измерения постоянных напряжений. Объясняется это тем, что параллельно измерительному прибору включены шунтирующие его диоды. Поэтому при расчете добавочных резисторов переменного тока исходным является не постоянный ток $I_и$ микроамперметра, а переменный ток, протекающий через добавочный резистор и зависящий от способа включения диодов выпрямителя, параметров диодов и ряда других причин. Для вольтметра, схема которого показана на рис. 9, а, переменный ток примерно в 2,2 раза превышает ток $I_и$, поэтому и сопротивления добавочных резисторов должны быть во столько же раз меньше, чем в вольтметре постоянного тока. Окончательно же их, как правило, подбирают опытным путем.

Повышение входного сопротивления вольтметра

В ряде случаев то или иное напряжение в цепях усилителей звуковой частоты, радиоприемников, телевизоров или других радиотехнических устройств можно измерить только вольтметром с относительно большим входным сопротивлением. Необходимость в таком вольтметре возникает, например, при работе с транзисторной аппаратурой, в которой напряжения малы и приходится пользоваться низковольтными пределами измерения. В подобных случаях вольтметры, созданные на базе приборов магнитоэлектрической системы, так сильно шунтируют контролируемую цепь, что результаты измерений не соответствуют истинным напряжениям. Измерять напряжения в таких цепях можно только электронным, например транзисторным, вольтметром, представляющим собой сочетание прибора магнитоэлектрической системы и транзисторного усилителя измеряемых напряжений. Входное сопротивление такого прибора определяется входным сопротивлением его усилителя и может быть от сотен килоом до нескольких мегаом. К прибору магнитоэлектрической системы, используемому в электронных вольтметрах, не предъявляется особенно высоких требований по току полного отклонения — он может быть рассчитан на ток 100...300 мкА и даже больше.

Однако не каждый усилитель пригоден для электронного вольтметра. Он должен содержать специальные цепи, позволяющие подключать его вход к участкам аппаратуры с различными напряжениями и компенсирующие его началь-

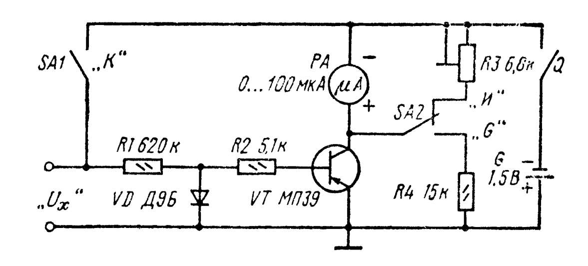


Рис. 10. Принципиальная схема простейшего транзисторного вольтметра постоянного тока

ные токи. В противном случае начальные токи вызовут отклонение стрелки прибора даже при отсутствии измеряемого напряжения на входе усилителя.

Схема возможного варианта простейшего транзисторного вольтметра изображена на рис. 10. Измеряемое напряжение U_x через резисторы R1 и R2 подается на базу транзистора VT, вызывая ток через его эмиттерный p-n переход. Этот ток усиливается транзистором, в результате чего стрелка прибора, включенного в его коллекторную цепь, отклоняется на угол, почти пропорциональный измеряемому напряжению. При одном и том же измеряемом напряжении угол, на который отклоняется стрелка прибора, зависит в основном от значений тока $I_и$ прибора и статического коэффициента передачи тока $h_{21э}$ транзистора.

Резисторы R1, R2 и эмиттерный переход транзистора, сопротивление которого лежит в пределах 300...500 Ом, образуют делитель измеряемого напряжения. При этом на долю эмиттерного перехода приходится лишь несколько десятых долей вольта. Но такого напряжения вполне достаточно, чтобы в коллекторной цепи транзистора, а значит, и через измерительный прибор создать ток в несколько миллиампер. Бóльшая же часть измеряемого напряжения падает на резисторах R1 и R2. Они в данном случае играют роль добавочного резистора, гасящего избыточное напряжение в цепи базы транзистора. Основным добавочным резистором является резистор R1, сопротивление которого более чем в 100 раз превышает сопротивление резистора R2.

Диод VD в этом приборе защищает транзистор от повреждения при ошибочном подключении измерительных щупов, когда на базу транзистора структуры p-n-p поступает положительное (по отношению к эмиттеру) напряжение. В таком случае диод шунтирует участок R2 — эмиттерный p-n переход транзистора, и все измеряемое напряжение падает на добавочном резисторе R1.

Рассматриваемый здесь вольтметр — однопредельный. С данными резисторов и измерительного прибора, указанными на схеме, предел измерений вольтметра — 3 В. При этом относительное входное сопротивление, определяемое в основном сопротивлением добавочного резистора R1, составляет около 200 кОм/В, в то время как ток полного отклонения стрелки микроамперметра $I_и = 100$ мкА. Относительное входное сопротивление вольтметра, созданного на базе такого же микроамперметра, но без транзисторного усилителя, составило бы только 10 кОм/В. Для предела измерений 1 В сопротивление добавочного резистора R1 должно быть около 200 кОм, а для предела 10 В — около 2 МОм. Относительное входное сопротивление на этих пределах измерений будет таким же (около 200 кОм/В), т. е. в 20 раз больше, чем у вольтметра без транзисторного усилителя.

Погрешность измерений вольтметра с транзисторным усилителем сильно возрастает при изменении напряжения питания. Поэтому перед измерениями

обязательно надо проверять напряжение элемента G, питающего усилитель. Для этого переключатель SA2 переводят в положение «G» и контролируют напряжение элемента непосредственно измерительным прибором PA, который в этом случае работает как обычный вольтметр постоянного тока с добавочным резистором R4. Если напряжение элемента в пределах нормы (на шкале вольтметра риской должно быть отмечено нормальное для работы вольтметра напряжение питания), то переключатель SA2 переводят в прежнее положение «И» («Измерение»), а затем, замкнув контакты выключателя SA1 (положение «К»—«Контроль»), вольтметр калибруют. При этом элемент G оказывается подключенным к входу электронного вольтметра, и прибор должен показывать точно такое же напряжение, как и при измерении напряжения питания. Если необходимо, совпадения показаний прибора добиваются подстроечным резистором R3, после чего контакты выключателя SA1 размыкают — и вольтметр готов к измерениям.

Калибруют транзисторные вольтметры так же, как и приборы без усилителей. Однако для уменьшения погрешности транзисторный вольтметр надо «прогревать», включив питание за 10...15 мин до начала измерений, чтобы установился тепловой режим работы транзисторов. Признак готовности вольтметра к измерениям — стабильное положение стрелки близ нулевой отметки шкалы.

Вольтметром с однотранзисторным усилителем, собранным по схеме, показанной на рис. 10, можно измерять постоянные напряжения в цепях транзисторной и ламповой аппаратуры, почти не влияя на режимы работы ее элементов. Однако у такого вольтметра есть недостатки. Наиболее существенные из них — *«дрейф нуля»* (стрелка микроамперметра уходит с нулевой отметки шкалы), вызываемый изменениями обратного тока коллектора $I_{КБ0}$ при изменении температуры окружающей среды, и неравномерность первой трети шкалы, вызываемая начальным обратным током коллектор — эмиттер $I_{КЭ0}$ и нелинейностью вольт-амперной характеристики эмиттерного перехода. Эти недостатки можно значительно ослабить, используя усилитель на двух транзисторах, включенных по схеме *балансного каскада*.

Упрощенная схема, поясняющая принцип работы такого вольтметра, изображена на рис. 11. Сопротивления участков эмиттер — коллектор транзисторов VT1 и VT2 и резисторы R1 и R2 образуют *плечи измерительного моста* (см. с. 17—18). В одну из его диагоналей подается напряжение питания $U_{пит}$, в другую включен микроамперметр PA.

При подаче измеряемого напряжения в полярности, указанной на схеме, в цепи, состоящей из добавочного резистора $R_д$ и сопротивлений эмиттерных

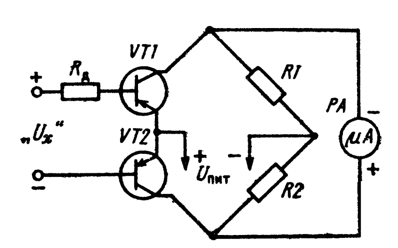


Рис. 11. Упрощенная схема вольтметра постоянного тока на основе балансного усилителя

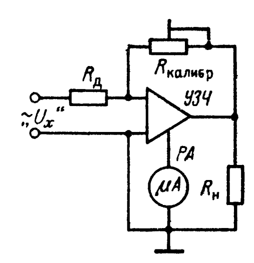


Рис. 12. Структурная схема вольтметра переменного тока

p-n переходов транзисторов, возникает ток, определяемый в основном сопротивлением добавочного резистора. На транзисторы этот ток воздействует неодинаково: транзистор VT1 он несколько закрывает, а транзистор VT2, наоборот, открывает. В результате коллекторный ток первого из них уменьшается, что приводит к увеличению сопротивления его участка эмиттер — коллектор, а второго увеличивается, вызывая соответствующее уменьшение сопротивления его участка эмиттер — коллектор. Таким образом, равновесие моста нарушается и через микроамперметр PA течет ток, пропорциональный измеряемому напряжению. Шкалу такого вольтметра можно отградуировать непосредственно в вольтах измеряемого напряжения, а число пределов измерений зависит от числа добавочных резисторов, которые будут включены в цепь базы транзистора VT1. Именно такой вольтметр постоянного тока мы и рекомендуем для радиолюбительской измерительной лаборатории.

В вольтметрах переменного тока, необходимых при налаживании, проверке и ремонте различной усилительной и приемной аппаратуры, также применяют электронные усилители, позволяющие повысить входное сопротивление вольтметра и его чувствительность. Электронные вольтметры переменного тока строят в основном по двум схемам. Первую из них называют условно схемой «усилитель — детектор», вторую — «детектор — усилитель». В приборах, построенных по первой схеме, измеряемое напряжение сначала усиливается, затем выпрямляется, по второй, наоборот, сначала выпрямляется, а затем усиливается. Выпрямленное напряжение в обоих случаях измеряют прибором магнитоэлектрической системы.

Для измерения напряжений относительно низкой, например звуковой, частоты можно использовать и электронные вольтметры, построенные на базе обычного усилителя звуковой частоты (УЗЧ) с двухтактным выходом. Структурная схема одного из таких вольтметров показана на рис. 12. Измеряемое напряжение U_x через добавочный резистор $R_д$ подается на вход УЗЧ, нагруженного на резистор $R_н$, и усиливается им. Измерительный прибор PA включен в цепь питания оконечного каскада. Поскольку ток этого каскада прямо пропорционален входному сигналу, по показаниям прибора PA можно судить о значении входного напряжения. Калибруют такой вольтметр изменением глубины отрицательной обратной связи с помощью подстроечного резистора $R_{калибр}$. Эта обратная связь, кроме того, расширяет рабочий диапазон частот прибора, повышает стабильность его работы и линеаризует шкалу. Транзисторный вольтметр переменного тока, описываемый в книге, собран по аналогичной структурной схеме.

Измерение сопротивлений

Для измерения сопротивления резисторов, участков цепей, обмоток дросселей и трансформаторов и т. д. используют омметры. Схема простейшего однопредельного омметра показана на рис. 13, а. Она напоминает схему вольтметра постоянного тока. Суммарное сопротивление резисторов $R_д$ и R_0 выбрано таким, что при $R_x=0$, т. е. при замкнутых накоротко зажимах «R_x», стрелка прибора PA отклоняется на всю шкалу. Резистором R_0, называемым

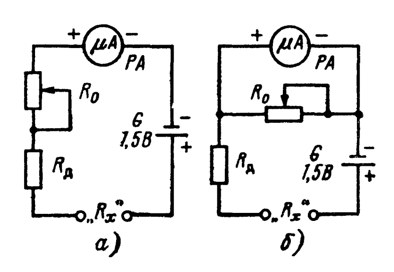


Рис. 13. Схемы простейших омметров с последовательным (а) и параллельным (б) включением резистора установки нуля

резистором установки нуля, компенсируют уменьшение напряжения разряжающегося источника питания. С его помощью стрелку прибора устанавливают точно на последнюю отметку, т. е. на нуль шкалы омметра. Делают это при замкнутых накоротко зажимах «R_x».

Если к зажимам «R_x» присоединить резистор, то стрелка прибора отклонится на меньший угол, так как общее сопротивление цепи, в которую включен прибор магнитоэлектрической системы PA, увеличится, и чем больше будет сопротивление резистора R_x, тем меньше будет угол отклонения стрелки. Наконец, при каком-то достаточно большом R_x стрелка прибора вообще не отклонится (точнее, незначительно отклонится), указывая бесконечно большое сопротивление (∞). Таким образом, шкала омметра обратная: у нее 0 — справа, а ∞ — слева. Она, кроме того, нелинейная — по мере приближения к ∞ цена делений резко возрастает. Именно поэтому шкалы сопротивлений в омметрах и авометрах делают самостоятельными.

Основной параметр омметра — его *входное сопротивление* $R_{вх}$, т. е. сопротивление между входными зажимами «R_x». Оно слагается из сопротивлений рамки прибора $R_и$ и добавочных резисторов. Так, если в омметре, собранном по схеме, показанной на рис. 13, *а*, использован микроамперметр с параметрами $I_и=100$ мкА и $R_и=1000$ Ом, то при напряжении источника питания 1,5 В и сопротивлении резисторов $R_д$ и R_0, равном 14 кОм, входное сопротивление $R_{вх}$ составит 15 кОм. От входного сопротивления зависит диапазон сопротивлений, которые можно измерять данным омметром.

В связи с тем, что крайние участки шкалы омметра дают значительные погрешности, при измерениях пользуются в основном средней, сравнительно равномерной, частью шкалы. За наименьший (нижний) предел измерений обычно принимают сопротивление, соответствующее $1/10\ R_{вх}$, за наибольший (верхний) предел — $10\ R_{вх}$. Так, если $R_{вх}$ омметра равно 15 кОм, то им можно измерять сопротивления примерно от 1,5 до 150 кОм.

Шкалу омметра можно отградуировать по образцовым резисторам или магазину сопротивлений. Однако это можно сделать и расчетным путем. В самом деле, при $R_x=0$ через прибор PA протекает ток $I_и=U_0/R_{вх}$, где U_0 — напряжение источника питания омметра. Как только к входным зажимам будет подключено измеряемое сопротивление R_x, ток I_x через прибор уменьшится до значения

$$I_x=\frac{U_0}{R_{вх}+R_x}.$$

При бесконечно большом R_x, т. е. при разрыве измерительной цепи омметра, ток $I_x=0$. Понятие «бесконечно большое» R_x имеет относительный смысл и зависит от сопротивления добавочного резистора $R_д$, т. е. от предела, на котором производят измерения. Отношение токов I_x и $I_и$ можно определить по формуле

$$\frac{I_x}{I_и}=\frac{U_0/(R_{вх}+R_x)}{U_0/R_{вх}}=\frac{R_{вх}}{R_{вх}+R_x}=\frac{1}{1+R_x/R_{вх}}.$$

Нетрудно убедиться, что при $R_x=R_{вх}$ ток $I_x=0{,}5\ I_и$, т. е. стрелка устанавливается в середине шкалы.

Цену промежуточных делений шкалы омметра вычисляют следующим образом. Задаются значением R_x и по приведенной формуле вычисляют соответст-

вующее ему отношение токов $I_x/I_и$. Затем это отношение токов умножают на общее число делений шкалы микроамперметра, которую принимают за эталон, и тем самым определяют ту отметку, напротив которой надо поставить заданное значение R_x. Например, при $R_x=2R_{вх}$ отношение $I_x/I_и=0{,}333$. Если шкала прибора имеет 100 делений, то напротив отметки $0{,}333\cdot100=33{,}3$ наносят отметку 2 шкалы сопротивлений. Численное значение этой отметки в омах или килоомах зависит от $R_{вх}$ омметра (в основном от сопротивления добавочного резистора). Например, если $R_{вх}=100$ Ом, то точка 33,3 шкалы будет соответствовать значению $R_x=200$ Ом; если $R_{вх}=1000$ Ом, то $R_x=2000$ Ом и т. д. По известному $R_{вх}$ омметра можно рассчитать ток и начертить шкалу для измерения R_x в интервале от 0,1...0,3 до 8...10 $R_{вх}$.

Недостаток омметра, собранного по схеме на рис. 13, а,— зависимость его входного сопротивления, а следовательно, и градуировки шкалы от напряжения источника питания, что увеличивает погрешность измерений при разрядке батареи.

Схема более совершенного омметра приведена на рис. 13, б. Здесь переменный резистор установки нуля R_0 включен параллельно измерительному прибору. Его сопротивление рассчитывают так, чтобы при минимальном напряжении источника питания (его выбирают в 1,5...2 раза меньше начального напряжения батареи) и полностью введенном резисторе R_0 через прибор PA протекал ток $I_и$. Тогда при работе от свежей батареи стрелку прибора устанавливают на нуль уменьшением сопротивления R_0, а по мере ее разрядки — его увеличением. Изменение сопротивления резистора R_0 и в этом случае влияет на входное сопротивление омметра и его градуировку, но это влияние обычно в несколько раз меньше, чем в омметре, выполненном по схеме, приведенной на рис. 13, а.

Чтобы изменить пределы измерений, нужно выбрать другие значения $R_{вх}$ и U_0 омметра. В этом случае поступают так же, как и при конструировании многопредельного вольтметра: включают такие добавочные резисторы, чтобы $R_{вх}$ каждого предела измерений было в 10 раз больше предыдущего, и, разумеется, увеличивают напряжение U_0. При этом градуировка шкалы сопротивлений сохраняется неизменной, только показания, отсчитанные по ней, умножают соответственно на 10, 100 и т. д.

Для измерения электрических сопротивлений широко используют также *измерительные мосты*.

Простейший измерительный мост постоянного тока (рис. 14) представляет собой электрическую цепь, состоящую из резисторов R1 — R4, называемых *плечами моста*. Диагональ А — В называют *измерительной*, а Г — Б — диагональю *питания*. Измерительный мост электрически сбалансирован (или уравновешен), если через измерительный прибор PA, функции которого выполняет микроамперметр, ток не протекает. Это может быть лишь в том случае, если произведения сопротивлений противоположных плеч моста попарно равны, т. е. $R2R4=R1R3$. При этом разность напряжений между точками А и В равна нулю, и ток I_1 протекает только через резисторы R3 и R2.

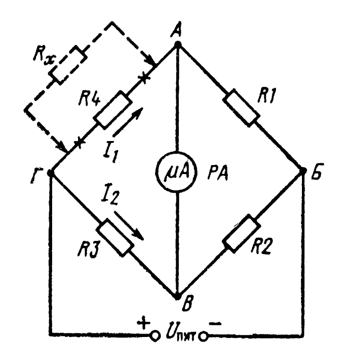


Рис. 14. Схема измерительного моста

Вместо одного из резисторов моста, например R4, можно включить резистор неизвестного сопротивления R_x (на рис. 14 показан штриховыми линиями). И если это сопротивление не равно сопротивлению резистора R4, мост разбалансируется и через измерительную диагональ А — В потечет ток, который вызовет отклонение стрелки микроамперметра. Чтобы мост сбалансировать, надо так подобрать сопротивления резисторов R1, R2 и R3, чтобы равенство $R_xR2=R1R3$ восстановилось. Неизвестное сопротивление R_x рассчитывают по формуле

$$R_x=R1\frac{R3}{R2}.$$

Резисторы R2 и R3 в данном случае называют *плечами отношения*, а резистор R1 — *плечом сравнения*. Последний делают переменным и на его шкале отмечают значения R_x в относительных единицах, т. е. в единицах отношения R3/R2. При R3/R2=1 отсчитанное по шкале плеча сравнения R1 показание будет соответствовать значению сопротивления R_x.

Чтобы измерить неизвестное сопротивление R_x, большее, чем максимальное сопротивление резистора R1, надо изменить отношение R3/R2, например, в 10 раз. Тогда можно будет измерять сопротивления R_x, в 10 раз бо́льшие, чем сопротивление резистора R1, и пользоваться той же шкалой, только отсчитанные по ней значения умножать на 10. Если же отношение R3/R2=100, то их надо умножать на 100 и т. д. Таким образом, схема моста для измерения сопротивлений принимает вид, показанный на рис. 15. Диапазон сопротивлений R_x, измеряемых с помощью подобного моста, может быть от долей ома до нескольких мегаом.

Точность измерения сопротивлений мостовым методом может быть очень высокой — до десятых долей процента измеряемого сопротивления. Но для этого необходима и высокая точность подбора резисторов моста. Поэтому в высокоточных (прецизионных) мостах в качестве плеч сравнения применяют не переменные резисторы, а высокостабильные магазины сопротивлений. Что же касается подбора резисторов R2 и R3′ — R3″, то с особой точностью необходимо выдержать их отношение, равное 1, 10, 100 и т. д., так как от этого зависит точность отсчета.

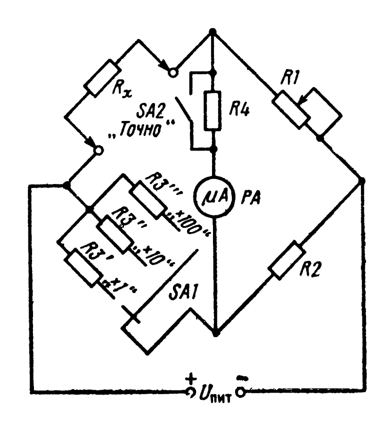


Рис. 15. Многопредельный измерительный мост

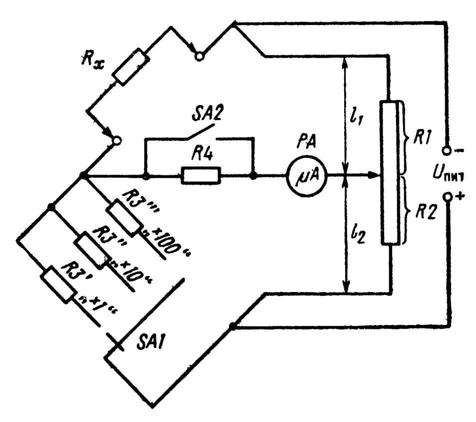


Рис. 16. Реохордный измерительный мост

Чем больше напряжение питания моста, тем больше и ток при разбалансе. Поэтому если чувствительность измерительного прибора сравнительно невелика, то можно увеличить напряжение питания. Однако в этом случае при большом разбалансе моста ток в измерительной диагонали может оказаться столь значительным, что повредит микроамперметр. Чтобы этого не случилось, в измерительную диагональ последовательно с микроамперметром включают резистор R4. В начале подбора сопротивлений плеч моста, когда разбаланс велик, этот резистор ограничивает ток через измерительный прибор, как бы «загрубляя» его. Когда же сопротивления плеч примерно подобраны и можно переходить к точной балансировке моста, этот резистор замыкают выключателем SA2 («Точно»).

Индикатором баланса моста может быть микроамперметр на 100...200 мкА. Очень удобно, если у него нуль находится в середине шкалы. В этом случае, сделав на ней соответствующие надписи, легко будет ориентироваться, в какую сторону надо изменять сопротивление переменного резистора R1 или отношение R3/R2.

В радиолюбительской практике наиболее распространены так называемые *реохордные* мосты. Схема такого моста показана на рис. 16. В нем плечи отношений R1 и R2 объединены в один переменный резистор — *реохорд*, движок которого механически связан со шкалой. Измеряемое сопротивление R_x определяют по формуле

$$R_x = R3\frac{R1}{R2} = R3\frac{l_1}{l_2}.$$

Шкала переменного резистора, выполняющего функции реохорда, имеет отметки 0 и ∞, но из-за ее логарифмического характера достаточно точно можно отсчитывать лишь значения сопротивлений (в относительных единицах) в интервале 0,1...10, причем отметка 1 расположена в середине шкалы. Если движок реохорда оказывается в положении 0...0,1 или 10...∞, то надо переходить на другой предел измерения, включив в плечо моста соответствующий образцовый резистор R3′ — R3‴.

В качестве реохордов радиолюбители чаще всего применяют проволочные переменные резисторы сопротивлением несколько сотен ом.

Принципиально так же работает и мост переменного тока, причем его можно использовать для измерения не только сопротивления, но и емкости конден-

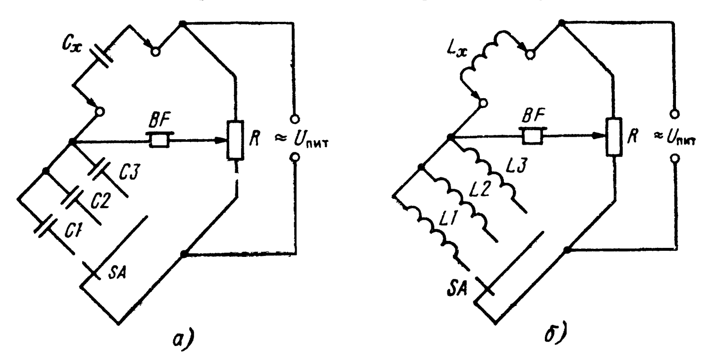


Рис. 17. Реохордные мосты переменного тока для измерения емкости (а) и индуктивности (б)

саторов и индуктивности катушек колебательных контуров, дросселей, обмоток трансформаторов. Индикатором баланса такого моста должен быть прибор, реагирующий на переменный ток.

Упрощенные схемы реохордных мостов для измерения емкости конденсаторов и индуктивности катушек изображены на рис. 17. Функции реохордов в обоих случаях выполняют переменные резисторы R. Конденсаторы C1 — C3 являются образцовыми конденсаторами С-моста, катушки L1 — L3 — образцовыми катушками L-моста. Мосты питаются напряжением переменного тока $\approx U_{пит}$, источником которого может быть любой генератор сигналов ЗЧ. Индикаторами баланса в обоих случаях являются головные телефоны BF, включенные в измерительные диагонали мостов. Баланс определяют по наименьшей громкости звучания телефонов.

Аналогичный реохордный мост переменного тока использован в измерителе RCL описываемой лаборатории.

Измерение частоты

В радиолюбительской практике наибольшее распространение получили так называемые конденсаторные частотомеры, действие которых основано на измерении среднего значения тока зарядки или разрядки образцового конденсатора, перезаряжаемого напряжением переменного или пульсирующего тока.

Принцип измерения частоты этим методом иллюстрируют схема и график, изображенные на рис. 18. В положении переключателя SA, показанном на схеме, конденсатор C мгновенно заряжается до напряжения батареи GB. При переводе подвижного контакта переключателя в другое положение заряженный конденсатор разряжается через микроамперметр и резистор $R_{огр}$. Этот резистор ограничивает ток в разрядной цепи до предельно допустимого для микроамперметра. При периодическом и достаточно частом переводе подвижного контакта переключателя из одного положения в другое образцовый конденсатор с такой же частотой будет заряжаться от батареи и разряжаться через микроамперметр. Чем больше частота этих переключений, тем меньше колеб-

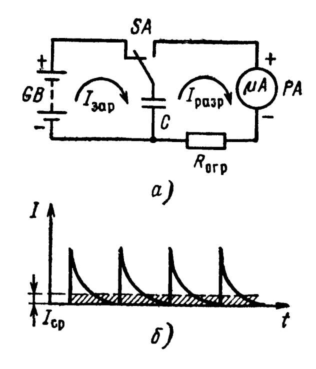


Рис. 18. Схема, поясняющая принцип действия конденсаторного частотомера (а), и форма тока (б), текущего через микроамперметр PA

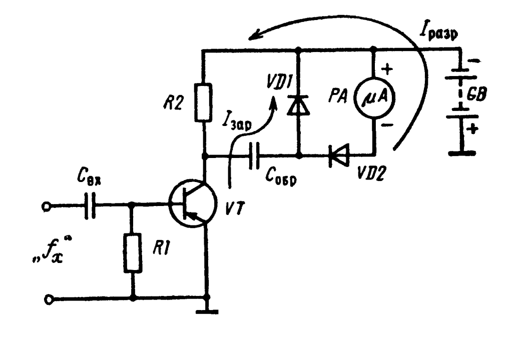


Рис. 19. Схема простейшего конденсаторного частотомера

лется стрелка измерительного прибора, фиксируя среднее значение текущего через него тока $I_{ср}$ (на графике рис. 18, б обозначен штриховкой).

На рис. 19 показана схема простейшего варианта конденсаторного частотомера. В нем p-n-p транзистор VT, работающий в режиме переключения, т. е. как электронный ключ, выполняет функцию переключателя, который автоматически с частотой f_x измеряемого переменного напряжения подключает образцовый конденсатор $C_{обр}$ то к батарее GB, являющейся источником питания частотомера, то к микроамперметру PA.

Начальное напряжение смещения на базу транзистора не подается, поэтому в исходном состоянии он закрыт и тока в его коллекторной цепи практически нет. При отрицательных полуволнах переменного напряжения измеряемой частоты f_x транзистор открывается. В это время сопротивление его участка эмиттер — коллектор уменьшается почти до нуля, образцовый конденсатор через диод VD1 оказывается подключенным к батарее питания и заряжается до ее напряжения. При положительных полуволнах входного напряжения транзистор закрывается. В эти интервалы времени сопротивление его участка эмиттер — коллектор становится большим и образцовый конденсатор разряжается через диод VD2, микроамперметр PA и резистор R2. Микроамперметр при этом показывает текущий через него средний ток импульсов разрядки образцового конденсатора. Чем больше частота входного переменного напряжения, тем (при том же образцовом конденсаторе) больше угол отклонения стрелки микроамперметра от нулевой отметки шкалы.

С образцовым конденсатором емкостью 0,2 мкФ таким частотомером можно измерять частоту переменного или пульсирующего тока примерно от 20 до 200 Гц, с конденсатором в 10 раз меньшей емкости (0,02 мкФ) — от 200 до 2000 Гц, а с конденсатором в 100 раз меньшей емкости (2000 пФ) — от 2 до 20 кГц. Следовательно, чтобы таким прибором можно было измерять частоту сигналов звукового диапазона, его надо дополнить трехпозиционным переключателем, с помощью которого можно будет включать в зарядную цепь образцовые конденсаторы соответствующей емкости.

Конденсаторный метод измерения частоты использован и в частотомере описываемой нами радиолюбительской лаборатории.

Измерение основных параметров транзисторов

Перед сборкой радиоприемника, усилителя звуковой частоты для воспроизведения механической записи или какого-либо другого транзисторного устройства рекомендуется обязательно проверить транзисторы на работоспособность. Необходимость в такой проверке обусловлена значительным разбросом параметров транзисторов, что связано со сложной технологией изготовления полупроводниковых приборов.

В любительской практике обычно достаточно знать два основных параметра транзистора: обратный ток коллекторного перехода (или просто обратный ток коллектора) $I_{КБ0}$ и статический коэффициент передачи тока по схеме с общим эмиттером $h_{21Э}$. Схемы измерения этих параметров транзисторов структуры p-n-p показаны на рис. 20. Для транзисторов структуры n-p-n полярность включения питающей батареи и измерительного прибора следует изменить на обратную.

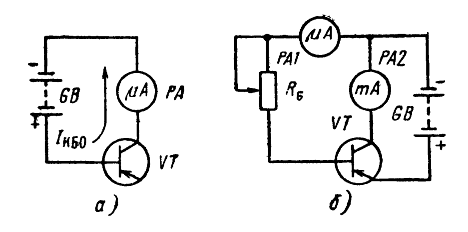


Рис. 20. Схемы измерения обратного тока коллектора (а) и статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ (б) транзистора структуры p-n-p

Обратный ток коллектора $I_{КБ0}$ — это неуправляемый ток в цепи коллектор — база, измеренный при заданном обратном напряжении на коллекторе и отключенном эмиттере (рис. 20, а). Чем меньше ток $I_{КБ0}$, тем выше качество коллекторного перехода и стабильность работы транзистора.

Статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ характеризует усилительные свойства транзистора. Чем больше коэффициент $h_{21Э}$, тем, естественно, больше и усиление, которое может обеспечить транзистор. Этот параметр измеряют по схеме, показанной на рис. 20, б, как отношение тока коллектора к вызвавшему его току базы: $h_{21Э} \approx I_К/I_Б$. При этом не учитывается обратный ток коллектора, протекающий в его цепи и при отсутствии смещения на базе, и начальный обратный ток коллектор — эмиттер, также являющийся частью коллекторного тока.

Более точные результаты измерения коэффициента $h_{21Э}$ можно получить, измеряя токи коллектора $I_{К1}$ и $I_{К2}$, соответствующие двум различным значениям тока базы $I_{Б1}$ и $I_{Б2}$ ($I_{Б2}>I_{Б1}$). В этом случае статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ рассчитывают по формуле

$$h_{21Э} = \frac{I_{К2}-I_{К1}}{I_{Б2}-I_{Б1}}.$$

На этом заканчиваем предварительное ознакомление с электрическими измерениями и переходим к описанию приборов радиоизмерительной лаборатории.

АВОМЕТР

Токи, напряжения и сопротивления радиолюбитель измеряет обычно одним комбинированным прибором — авометром. Такой прибор совмещает в себе амперметр, миллиамперметр, вольтметр и омметр, основы построения которых рассмотрены в предыдущем разделе книги.

Какие виды и пределы измерений должен обеспечивать такой комбинированный прибор?

Налаживая или ремонтируя радиоаппаратуру, радиолюбителю приходится измерять постоянные и переменные напряжения от долей вольта до нескольких сотен вольт. Если же речь идет только о транзисторных конструкциях, то в этом случае верхний предел измерений напряжений не превышает, как правило, 20...30 В.

Постоянные токи приходится измерять в пределах от долей миллиампера до сотен миллиампер или даже нескольких ампер, если, например, имеют дело с мощными транзисторами. Измерять переменные токи звуковой частоты приходится значительно реже. Поэтому описываемым авометром не предусмотрено измерение переменных токов.

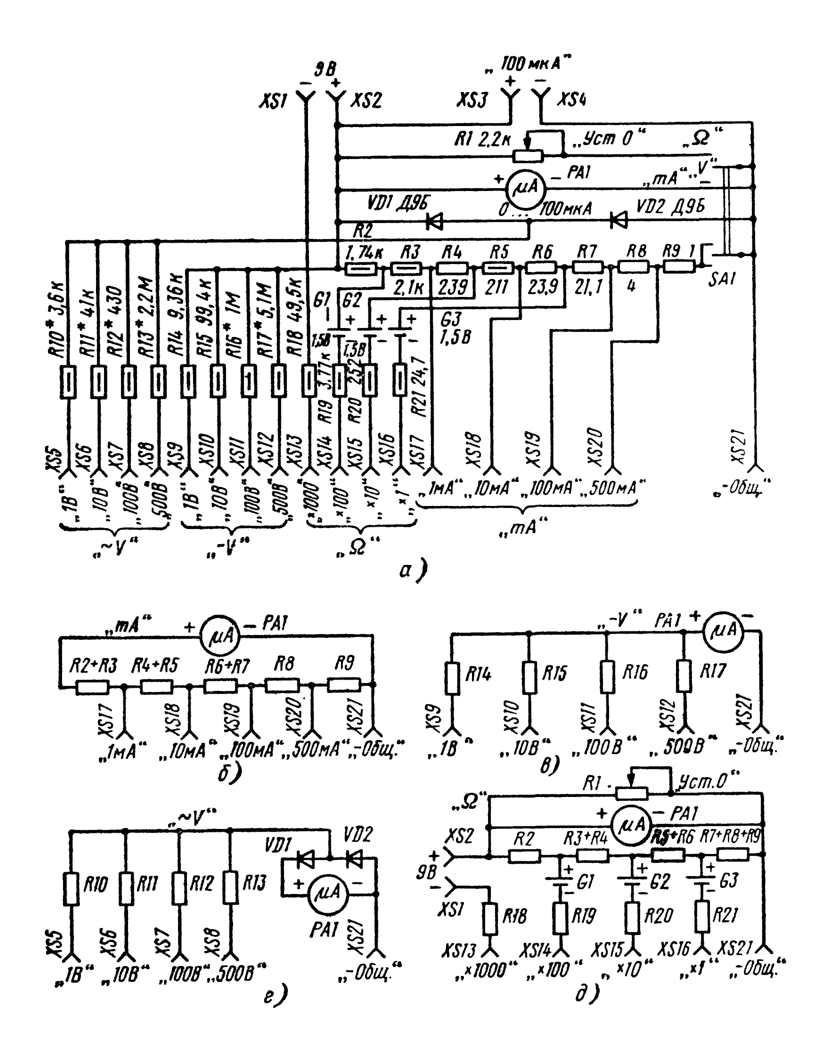


Рис. 21. Принципиальная схема авометра (а) и схемы получающихся из него миллиамперметра (б), вольтметров постоянного (в) и переменного (г) токов и омметра (д)

Наконец, сопротивления, с измерением которых радиолюбителю приходится сталкиваться, могут быть в пределах от единиц Ом до нескольких мегаом.

Описываемым авометром можно измерять: постоянный ток до 500 мА (пределы измерений: 1, 10, 100 и 500 мА), постоянные напряжения до 500 В (пределы: 1, 10, 100 и 500 В), переменные напряжения до 500 В (1, 10, 100 и 500 В) и сопротивления от 1 Ом до 5 МОм (пределы: 1 Ом...5 кОм, 10 Ом... 50 кОм, 100 Ом...500 кОм и 1 кОм...5 МОм). Относительное входное сопротивление вольтметра постоянного тока — около 10 кОм/В.

Принципиальная схема авометра изображена на рис. 21, а. Чтобы легче разобраться в работе прибора, отдельно показаны его упрощенные схемы, ис-

пользуемые при измерении постоянного тока (рис. 21, б), постоянных напряжений (рис. 21, в), переменных напряжений (рис. 21, г) и сопротивлений (рис. 21, д).

Измерительным прибором авометра служит микроамперметр М24 (PA1) с током полного отклонения стрелки $I_и$=100 мкА и сопротивлением рамки $R_и$= =645 Ом. Для микроамперметра с другими значениями $I_и$ и $R_и$ сопротивления всех резисторов авометра надо, естественно, перерассчитать.

При измерении постоянного тока параллельно микроамперметру подключают универсальный шунт, состоящий из резисторов R2 — R9 с общим (расчетным) сопротивлением 4355 Ом. Отводы от точек соединения резисторов R2 и R3, R4 и R5, R6 и R7 не используются (они нужны при измерении сопротивлений), поэтому на рис. 21, б эти элементы шунта заменены резисторами R2+R3, R4+R5 и R6+R7.

При измерении постоянных и переменных напряжений универсальный шунт отключается, что необходимо для сохранения высокого входного сопротивления вольтметра. В зависимости от рода (постоянное или переменное) и значения измеряемого напряжения последовательно с микроамперметром включается один из добавочных резисторов R14 — R17 (рис. 21, в) или R10 — R13 (рис. 21, г).

Вольтметр переменного тока отличается от вольтметра постоянного тока наличием в нем диодов VD1, VD2 и сопротивлениями добавочных резисторов, которые, как указывалось ранее, меньше сопротивлений соответствующих резисторов вольтметра постоянного тока примерно в 2,2 раза.

Прибор для измерения сопротивлений заметно отличается от простейших омметров, схемы которых были рассмотрены в предыдущем разделе (см. рис. 13). В этом приборе при измерении сопротивлений параллельно микроамперметру подключается универсальный шунт, состоящий из резисторов R2, R3+R4, R5+ +R6 и R7+R8+R9. Сопротивления резисторов шунта и добавочных резисторов R18 — R21 подобраны так, что входное сопротивление омметра $R_{вх}$ на втором пределе («×10»), в 10 раз больше $R_{вх}$ первого предела («×1»), равного 50 Ом, на третьем («×100») — в 10 раз больше $R_{вх}$ второго предела, а на четвертом («×1000») — в 10 раз больше $R_{вх}$ третьего предела. Функции шунта омметра выполняют резисторы универсального шунта микроамперметра. Но отводы от точек соединения резисторов R3 и R4, R5 и R6, R7 — R9 при измерении сопротивлений не используются.

На первых трех пределах омметра («×1», «×10», «×100») к универсальному шунту подключены цепи, каждая из которых состоит из одного элемента 332 (G1, G2 или G3) и резистора (R19, R20 или R21). Для измерений на четвертом пределе («×1000») к омметру через гнезда XS1, XS2 подключают внешний источник питания напряжением 9 В. Им могут быть две батареи 3336Л, соединенные последовательно, или блок питания, входящий в комплект описываемых приборов.

Вся коммутация в авометре (подключение и отключение универсального шунта, резистора R1, с помощью которого устанавливают на нуль стрелку прибора при измерении сопротивлений) осуществляется с помощью одного переключателя SA1. В положении «Ω» к микроамперметру подключается универсальный шунт и резистор R1, а в положении «mA» — только универсальный шунт. Диоды VD1 и VD2 постоянно подключены к микроамперметру, но, поскольку их обратное сопротивление составляет сотни килоом, они практически не оказывают на него шунтирующего действия. Элементы G1 — G3 ом-

метра при измерении тока и напряжения не отключаются от шунта, что также сделано с целью упрощения коммутации авометра.

Описываемый прибор — универсальный. И не только потому, что с его помощью можно измерять ток, напряжение и сопротивление, но еще и потому, что его микроамперметр может быть использован в некоторых других измерительных приборах радиолюбительской лаборатории. С этой целью на переднюю панель авометра выведены гнезда XS3 и XS4 («100 мкА»), соединенные непосредственно с зажимами микроамперметра. Надо только помнить, что при таком использовании микроамперметра переключатель SA1 должен находиться в положении «V».

Конструкция и детали. Общий вид авометра показан на рис. 22, а конструкция его корпуса и размещение в нем деталей даны на рис. 23. Несущим элементом конструкции является корпус 2. На его передней стенке с внутренней стороны закреплен микроамперметр 5. Корпус последнего имеет спереди выпуклость высотой около 3 мм, поэтому к передней стенке он крепится не непосредственно, а через прокладку 4. На передней стенке авометра закреплены также две колодки 15 с гнездами XS5 — XS20, колодка 12 с гнездами XS3, XS4 и XS21, переменный резистор R1 («Уст. 0») и переключатель вида измерений SA1. Для крепления колодок с гнездами использованы винты M3×8 с потайной головкой. Уголки 7 и 13 для крепления крышки 6 соединены с корпусом заклепками 8, а ножки 10 — заклепками 9.

Монтажная плата 16 (на рис. 23 показана штриховыми линиями) с резисторами R2 — R21, диодами VD1, VD2 и элементами G1 — G3 закреплена винтами M3×28 с потайными головками. Винты пропущены через трубчатые стойки 11 и ввинчены в средние резьбовые отверстия колодок.

Надписи, поясняющие назначение ручек управления и гнезд, выполнены на полосах цветной бумаги и прикрыты накладкой 1 из прозрачного бесцветного органического стекла. Для крепления накладки к передней стенке корпуса использованы гайки переменного резистора и переключателя, один из винтов крепления колодки 12 и два винта 3 (M2×5), которые ввинчены с обратной стороны стенки. Колодка 14 с гнездами XS1 и XS2 закреплена на уголке 13 одним винтом M3×6.

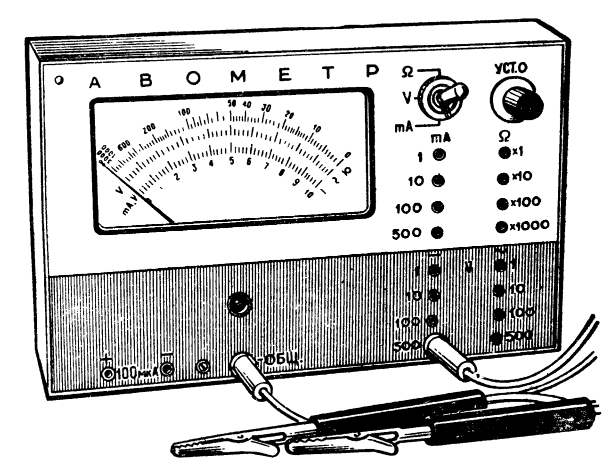


Рис. 22. Внешний вид авометра

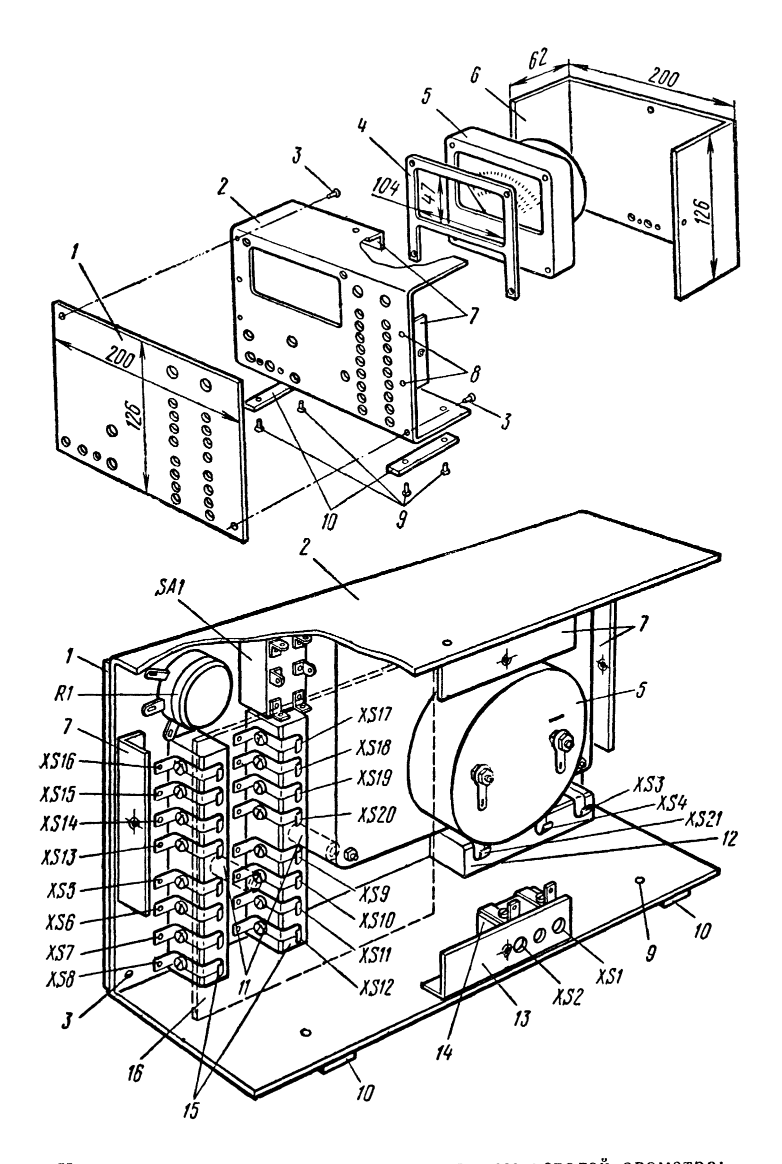


Рис. 23 Конструкция корпуса и размещение в нем деталей авометра:

1 — накладка; 2 — корпус; 3 — винты крепления накладки; 4 — прокладка; 5 — микроамперметр М24; 6 — крышка; 7, 13 — уголки крепления крышки; 8 — заклепки крепления уголков; 9 — заклепки крепления ножек; 10 — ножки; 11 — стойки крепления монтажной платы; 12, 14, 15 — гнездовые колодки; 16 — монтажная плата

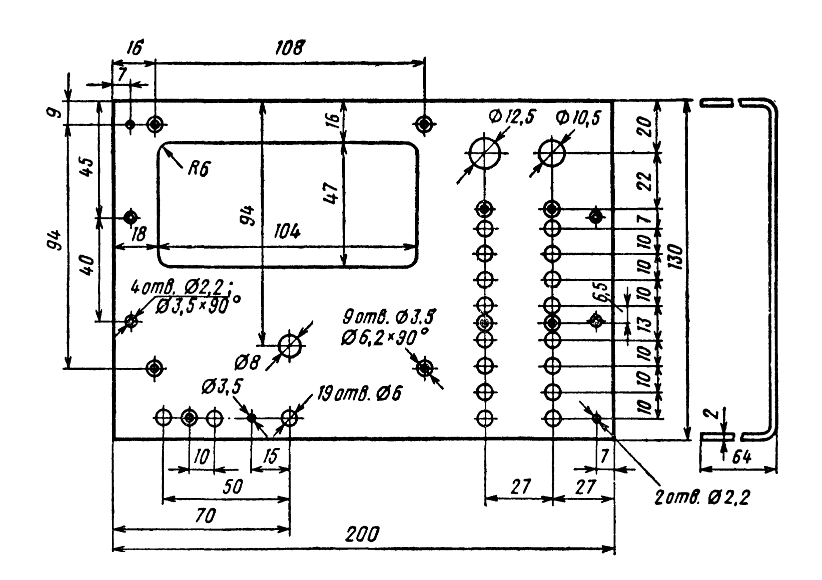


Рис. 24. Разметка передней стенки корпуса

Корпус, крышка и уголки изготовлены из листового алюминиевого сплава АМц-П; пригоден также мягкий дюралюминий. Разметка передней стенки корпуса показана на рис. 24.

Изготавливая крышку, надо добиваться сопряжения ее с корпусом, т. е. так подогнать размеры, чтобы она не выступала за габариты корпуса.

Наиболее ответственные детали авометра — гнезда. От тщательности их изготовления во многом зависит надежность работы прибора. Конструктивно все гнезда одинаковы. Для удобства изготовления они объединены в четыре группы, каждая из которых смонтирована на отдельной колодке. Устройство одной из таких групп показано на рис. 25. Каждое гнездо (рис. 25, а) образовано отверстием в колодке 15 и контактом 20, закрепленным на ней винтом 21. Форма контакта такова, что его нижняя (по рисунку) часть наполовину перекрывает отверстие под штепсель, поэтому при подключении эта часть контакта поднимается (рис. 25, б) и давит на штепсель, благодаря чему обеспечивается надежный электрический контакт.

Колодки 12, 14 и 15 (рис. 25, в) изготавливают из листового гетинакса, текстолита, стеклотекстолита или органического стекла. Всего для авометра нужно изготовить две колодки 15 и по одной колодке 12 и 14.

Для контактов (их потребуется 21 шт.) надо использовать твердую латунь (например, ЛС59-1) или бронзу толщиной 0,5 мм.

Уголки 7 и 13 (см. рис. 26) изготавливают из того же материала, что и корпус авометра, ножки 10 — из любой пластмассы подходящей толщины. Штепсели 23 и щупы 26 вытачивают из латунного прутка диаметром 4 мм, а их корпуса 24 и 25 — из текстолита, органического стекла или другого изоляционного материала. Более подробно о технологии изготовления деталей корпуса, гнезд и некоторых других деталей, используемых не только для авометра, говорится в разделе «Технологические советы».

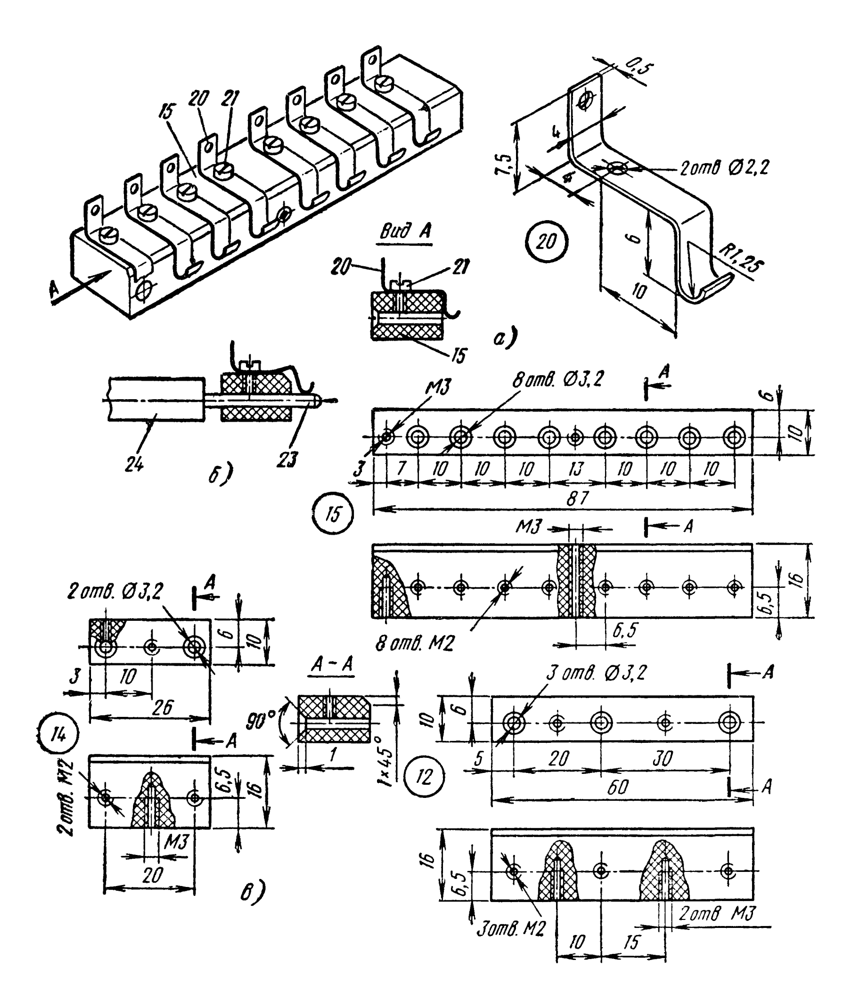


Рис. 25. Гнездовые колодки и их детали (а, б — устройство и принцип действия гнезда, в — чертежи деталей):

12, 14, 15 — колодки; 20 — контакт гнезда; 21 — винт M2×4; 23 — штепсель; 24 — корпус штепселя

Все резисторы (кроме переменного R1), диоды VD1, VD2 и элементы G1 — G3 смонтированы на плате, изготовленной из листового гетинакса (можно использовать стеклотекстолит) толщиной 2,5 мм. Разметка платы и ее монтажная схема показаны на рис. 27. Монтажными стойками 17 служат отрезки медной луженой проволоки диаметром 1,5 мм, запрессованные в отверстия в плате 16. Соединения на плате выполнены голым медным проводом диаметром 0,8 мм. В местах пересечений на него надеты отрезки поливинилхлоридной трубки. Для соединений платы с другими деталями авометра использован многожильный монтажный провод МГШВ сечением 0,35 мм^2.

Контакты-держатели 18 элементов G1 — G3 изготавливают из того же материала, что и контакты гнезд, и закрепляют на плате 16 пустотелыми заклеп-

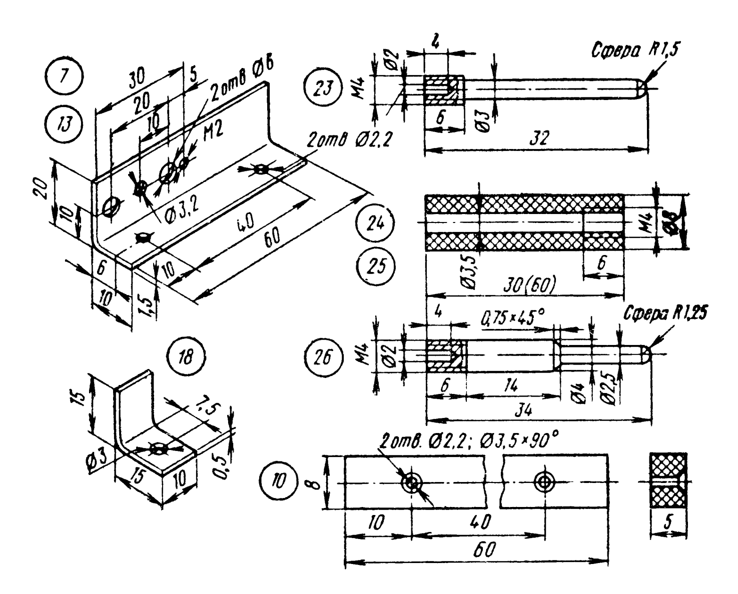


Рис. 26. Детали корпуса авометра и штепселей соединительных проводов:
7, 13 — уголки; 10 — ножка; 18 — контакт-держатель элементов батареи; 23 — штепсель для подключения соединительного провода к авометру; 24 — корпус штепселя для подключения к авометру; 25 — корпус штепселя-щупа; 26 — штепсель-щуп для подключения авометра к проверяемой цепи

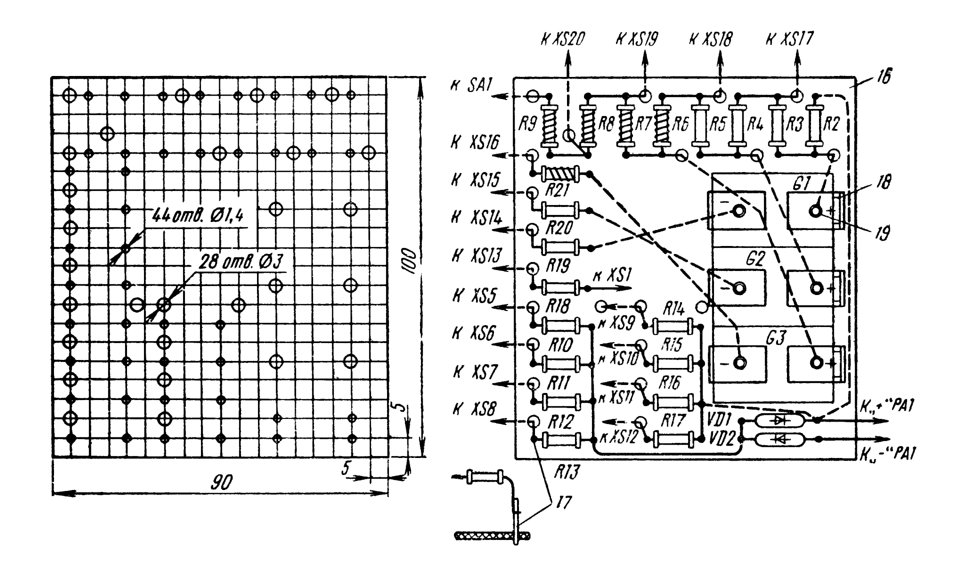


Рис. 27. Разметка монтажной платы авометра и размещение деталей на ней:
16 — плата; 17 — монтажная стойка; 18 — контакт-держатель элементов G1—G3 батареи омметра; 19 — пустотелые заклепки

ками 19. Стойки 11, создающие необходимый зазор между монтажной платой и гнездовыми колодками 15, изготовлены из органического стекла (можно применить гетинакс или текстолит). Их наружный диаметр 6, а длина — 20 мм.

Резисторы R4 и R6 — R9 универсального шунта изготовлены из манганинового провода в эмалевой и шелковой изоляции (ПЭШОММ, ПЭГОМТ). Для резисторов R4, R6 и R7 надо использовать провод диаметром 0,08...0,1 мм, а для резисторов R8 и R9 — 0,15...0,2 мм. Пригодны, разумеется, другие высокоомные провода, например, из константана. Каркасами служат резисторы МЛТ-0,5 сопротивлением не менее 200 кОм.

Длину провода, необходимую для получения заданного сопротивления, можно определить с помощью моста для измерения сопротивлений или образцового омметра. Чтобы при калибровке шкалы прибора можно было более точно подобрать сопротивления резисторов, длину их проводов увеличивают на 5...10%.

Резистор R1 может быть как проволочным, так и непроволочным (например, СП-I). Важно лишь, чтобы его сопротивление было 2...3 кОм, а габариты не превышали размеров резистора СП-I.

Остальные резисторы, примененные в авометре,— МЛТ-0,5. Для упрощения налаживания авометра их следует взять с несколько бóльшим (примерно на 10...15%) сопротивлением, чем указано на принципиальной схеме. Тогда при калибровке легко подобрать нужное сопротивление, подключая параллельно им резисторы сопротивлением в 7...10 раз бóльшим. Можно поступить и по-другому: каждый отдельный резистор заменить двумя-тремя соединенными последовательно и при калибровке подбирать резисторы меньшего сопротивления. Так, резистор R2 можно составить из двух резисторов сопротивлением 1,5 кОм и 240 Ом, резистор R3 — из резисторов сопротивлением 2 кОм и 110 Ом, R14 — из резисторов сопротивлением 9,1 кОм и 270 Ом и т. д.

Переключатель вида измерений SA1 — тумблер ВТЗ на три положения и два направления. Можно использовать любой другой переключатель, обеспечивающий необходимую коммутацию, например галетный, но в этом случае придется несколько увеличить размеры авометра.

Градуировка. Полностью смонтировав авометр, проверяют правильность всех соединений и только после этого приступают к градуировке его шкал. Начинают ее с калибровки шкалы постоянных токов по схеме, показанной на рис. 28, а. Здесь GB — батарея, составленная из трех элементов 373, $PA_г$ — градуируемый миллиамперметр, $PA_о$ — образцовый прибор, например промышленный миллиамперметр класса 0,2...0,5 или авометр в режиме измерения тока, $R_а$ — проволочный переменный резистор сопротивлением 50...100 Ом, $R_б$ — резистор СП-I сопротивлением 5...10 кОм, SA — выключатель любого типа. Перед калибровкой резистор $R_а$ полностью вводят (движок в верхнем — по схеме — положении), а $R_б$ — выводят. Переключатель SA1 авометра устанавливают в положение «mA»,

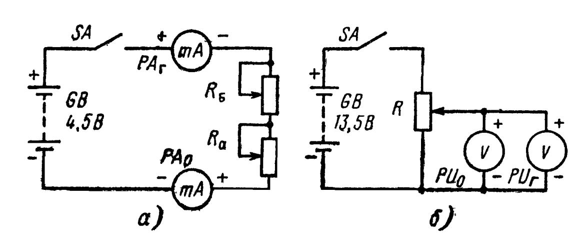


Рис. 28. Схемы градуировки шкал миллиамперметра (а) и вольтметра постоянного тока авометра (б)

штепсели соединительных проводов вставляют в гнезда «Общ.» и «500 мА». Затем, плавно изменяя сопротивление резистора $R_а$, устанавливают по шкале образцового прибора ток 500 мА и сравнивают его с показанием измерительного прибора авометра. Если сопротивление резистора R9 универсального шунта больше расчетного, то стрелка налаживаемого прибора уйдет за последнюю отметку шкалы. Отматывая провод с резистора R9 и следя за показаниями образцового миллиамперметра, стрелку устанавливают на последнюю отметку.

После этого питание выключают, снова полностью вводят резистор $R_а$ и переставляют штепсель соединительного провода в гнездо «100 мА» налаживаемого прибора. Вновь включив питание и изменяя сопротивление резистора $R_а$, устанавливают стрелку образцового прибора на отметку 100 мА и, подбирая сопротивление резистора R8, добиваются отклонения стрелки калибруемого прибора точно до последней отметки шкалы.

Аналогично калибруют шкалу прибора и на остальных пределах измерения постоянного тока (10 и 1 мА). Только при этом подбирают сопротивления резисторов R6 и R4, а ток в измерительной цепи регулируют переменным резистором $R_б$.

Калибровку прибора необходимо повторить в таком же порядке, чтобы внести в шунт поправки, компенсирующие изменение сопротивлений резисторов R9, R8, R6 и R4. При необходимости сопротивления этих резисторов подгоняют еще раз, чтобы на всех пределах измерений показания налаживаемого и образцового миллиамперметров стали одинаковыми.

Шкалу вольтметра постоянных напряжений калибруют по схеме, показанной на рис. 28, б. Здесь GB — батарея, составленная из трех соединенных последовательно батарей 3336Л, R — переменный резистор сопротивлением 2... 3 кОм, $PU_г$ — градуируемый вольтметр, $PU_о$ — образцовый вольтметр. Перед калибровкой переключатель SA1 авометра переводят в положение «V», а соединительные провода включают в гнезда — «Общ.» и «1 В». Образцовый вольтметр переключают на такой же или ближайший больший предел измерений, а движок переменного резистора R устанавливают в нижнее (по схеме) положение. После этого включают питание и, плавно перемещая движок резистора R, устанавливают стрелку образцового вольтметра на отметку 1 В. Сопротивление резистора R14 калибруемого вольтметра подбирают таким, чтобы стрелка микроамперметра установилась точно на последнюю отметку шкалы.

Точно так же калибруют вольтметр и на остальных пределах измерений, подбирая резисторы R15 (предел 10 В), R16 (предел 100 В) и R17 (предел 500 В). На последних двух пределах вместо батареи GB включают выпрямитель с соответствующим выходным напряжением, а в измерительную цепь включают переменный резистор сопротивлением 510...680 кОм (вместо 2...3 кОм).

Шкалы постоянного тока и напряжения практически линейны, поэтому шкала микроамперметра, имеющая оцифрованные отметки 0, 10, 20, 30, ..., 100, может использоваться при измерении любых постоянных токов и напряжений. Изменяется только цена делений. Так, на пределах 1 и 10 мА (В) показания, отсчитанные по шкале микроамперметра, надо делить соответственно на 100 и 10, а на пределе 500 мА (В) — умножать на 5.

Шкалы переменных напряжений нелинейны. Поэтому кроме калибровки последней отметки на каждом пределе измерений придется дополнительно наносить на шкалу и все оцифровываемые отметки (обычно не более девяти).

Измерительная цепь для градуировки шкал переменных напряжений такая же, как и при калибровке шкалы постоянных напряжений (рис. 28, б), только вместо батареи или выпрямителя используют автотрансформатор или трансформатор питания с обмотками на 5, 10 и 250...500 В, а в качестве образцового прибора — вольтметр переменного тока. Установив штепсель соединительного провода градуируемого вольтметра в гнездо «1 В», резистором R устанавливают по шкале образцового прибора напряжение 1 В. Затем, подбирая резистор R10, устанавливают стрелку градуируемого вольтметра на последнюю отметку шкалы. После этого градуируют шкалу вольтметра, т. е. наносят на нее риски, соответствующие напряжениям 0,9; 0,8; 0,7 В и т. д., измеренным образцовым прибором. Если деления шкалы получились очень неравномерными (по сравнению со шкалой постоянных напряжений), следует заменить диоды VD1, VD2, после чего градуировку повторить.

Далее образцовый и градуируемый вольтметры переключают на предел 10 В, подбирают резистор R11 и градуируют шкалу вольтметра через 1 В. Аналогично градуируют шкалу предела 100 В (но уже через 10 В), предварительно подобрав резистор R12.

Если автотрансформатор или повышающая обмотка трансформатора не обеспечивают напряжения 500 В, откалибровать последний предел можно по средней отметке (50 В) шкалы предела 100 В. В этом случае, переставив щуп градуируемого прибора в гнездо «500 В», устанавливают по образцовому вольтметру напряжение 250 В и подбирают такое сопротивление резистора R13, при котором стрелка микроамперметра отклоняется точно до отметки 50 В.

Поскольку шкалы разных пределов переменных напряжений практически совпадают и отличаются только ценой делений, при измерениях можно пользоваться одной шкалой, умножая (или деля) показания, отсчитанные по шкале прибора, на определенное число. Так, если на шкалу нанесены отметки от 0 до 10, то при работе на первом пределе («1 В») показания прибора надо делить на 10, а на третьем и четвертом пределах — умножать соответственно на 10 и 50.

В последнюю очередь подбором резисторов R18 — R21 подгоняют входные сопротивления омметра на разных пределах измерения. Для этого переключатель SA1 авометра переводят в положение «Ω», штепсели соединительных проводов вставляют в гнезда «—Общ.» и «×1» и, соединив щупы друг с другом, резистором R1 устанавливают стрелку прибора на нулевую отметку шкалы омметра (т. е. на последнюю отметку шкалы микроамперметра). Затем к щупам прибора подключают резистор, сопротивление которого равно входному сопротивлению этого предела измерений (50 Ом). Резистор такого сопротивления можно составить из двух резисторов сопротивлением, например, 30 и 20 или 39 и 11 Ом, соединенных последовательно. Подбором сопротивления резистора R21 стрелку микроамперметра устанавливают точно на середину шкалы.

Аналогично подгоняют входные сопротивления омметра на остальных пределах измерений. На втором пределе («×10») к входу омметра подключают образцовый резистор сопротивлением 500 Ом, на третьем («×100») — резистор сопротивлением 5 кОм, на четвертом («×1000») — резистор сопротивлением 50 кОм. На последнем пределе к омметру через гнезда XS1 и XS2 необходимо подключить батарею или выпрямитель с выходным напряжением 9 В.

Образцовые резисторы, обеспечивающие заданные входные сопротивления омметра для разных пределов измерения, следует составлять из прецизионных

(высокоточных) резисторов или в крайнем случае из резисторов с допускаемым отклонением от номинала не более ±5%.

Шкалу омметра лучше всего градуировать расчетным путем, пользуясь формулой, приведенной на с. 16. Поскольку шкала общая для всех пределов измерений (изменяется только цена ее делений), градуировку производят на каком-либо одном пределе, например первом («×1»). Диапазон измерений на этом пределе — примерно от 5 ($0{,}1\,R_{вх}$) до 500 Ом ($10\,R_{вх}$). Считаем, что шкала микроамперметра, используемого в авометре, имеет 100 делений. Задаемся сопротивлением $R_x=5$ Ом. Тогда отношение

$$\frac{I_x}{I_н}=\frac{1}{1+\frac{R_x}{R_{вх}}}=\frac{1}{1+\frac{5}{50}}\approx 0{,}9.$$

Следовательно, отклонение стрелки прибора до 90-го деления шкалы будет соответствовать сопротивлению $R_x=5$ Ом.

Точно так же рассчитывают отметки шкалы, соответствующие измеряемым сопротивлениям 10, 20, 30 и т. д. до 100 Ом, а затем через каждые 100 Ом до 500 Ом. Участки между соседними отметками делят на несколько частей, что облегчает отсчет промежуточных значений измеряемых сопротивлений. Отметка сопротивления, равного $R_{вх}$ данного предела измерений, будет точно посередине шкалы.

Шкалу омметра, входные сопротивления которого уже подогнаны, можно отградуировать и по образцовым резисторам. Для этого потребуются образцовый омметр или авометр заводского изготовления и переменные резисторы сопротивлением 10...15, 50...100 и 600...800 Ом. Вначале к образцовому омметру присоединяют первый из этих резисторов и по шкале прибора устанавливают сопротивление 5 Ом. Затем, не изменяя положения движка этого резистора, подключают его к градуируемому омметру и на шкале сопротивлений делают отметку, соответствующую сопротивлению 5 Ом. Далее, используя этот и другие переменные резисторы, точно так же наносят на шкалу отметки, соответствующие сопротивлениям до 500 Ом.

Закончив градуировку, шкалу микроамперметра осторожно снимают и вычерчивают дополнительные шкалы переменных напряжений и сопротивлений, пользуясь отметками, нанесенными при градуировке. Дополнительные отметки между оцифрованными точками шкалы переменных напряжений получают путем деления отрезков дуг на равные части. Шкала описанного здесь авометра показана на рис. 29.

Шкалу авометра можно также начертить на листе ватмана в увеличенном масштабе, затем фотографическим способом уменьшить ее до нужных размеров и наклеить на металлическое основание шкалы микроамперметра.

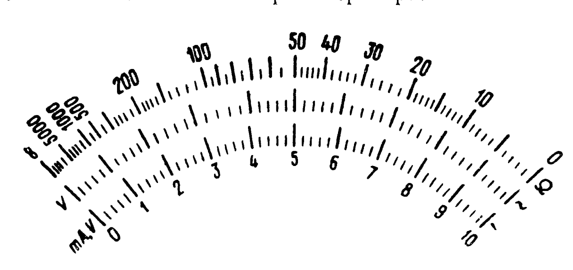


Рис. 29. Шкала авометра

ТРАНЗИСТОРНЫЙ ВОЛЬТМЕТР ПОСТОЯННОГО ТОКА

Транзисторный вольтметр постоянного тока выполнен в виде приставки к авометру (точнее, к микроамперметру авометра) и имеет шесть пределов измерений постоянного напряжения: 0,5; 1; 5; 10; 50 и 100 В. При правильной регулировке его усилителя и тщательном подборе добавочных резисторов погрешность не превышает ±5%, что вполне достаточно для любительских измерений. Относительное входное сопротивление вольтметра — 100 кОм/В.

Принципиальная схема вольтметра изображена на рис. 30. В нем применен балансный усилитель постоянного тока, выполненный на транзисторах VT1 и VT2. Измеряемое напряжение подается на базы обоих транзисторов через один из добавочных резисторов R1 — R6. Измерительный прибор PA1 (микроамперметр авометра) включен между коллекторами транзисторов.

Чтобы шкалы разных пределов измерений вольтметра были линейными, транзисторы должны работать на линейном участке вольт-амперной характеристики. Для этого на базы транзисторов через резисторы R8—R10 подается небольшое начальное отрицательное напряжение смещения. Балансировка усилителя перед измерениями (установка стрелки микроамперметра на нулевую отметку шкалы) осуществляется переменными резисторами R9 и R16. Первый из них служит для уравнивания базовых токов транзисторов, второй — коллекторных.

Применение в приборе балансного усилителя уменьшает «дрейф нуля» и тем больше, чем меньше разница в значениях тока $I_{кбо}$ используемых в нем транзисторов.

Переход с одного предела измерений на другой осуществляется переключением добавочных резисторов R1 — R6. Сопротивления этих резисторов подобраны так, чтобы получить полное отклонение стрелки микроамперметра при подаче на вход напряжений, соответствующих пределам измерений. Применение отдельного резистора для каждого предела упрощает калибровку вольтметра.

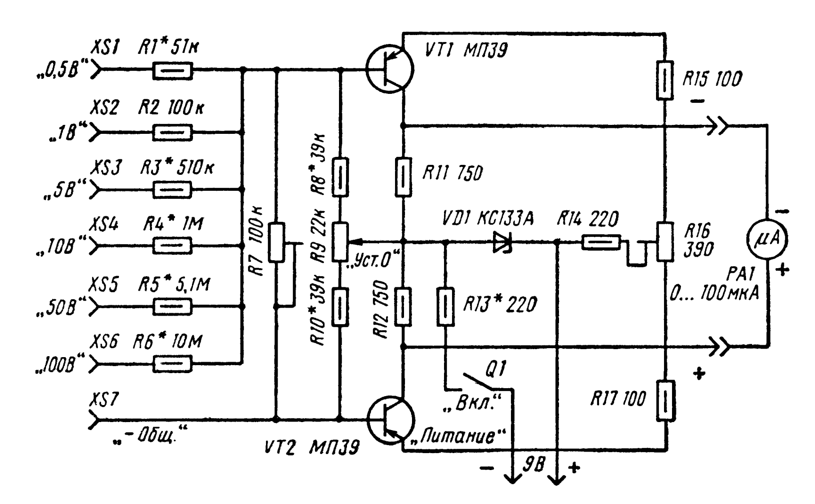


Рис. 30. Принципиальная схема транзисторного вольтметра постоянного тока

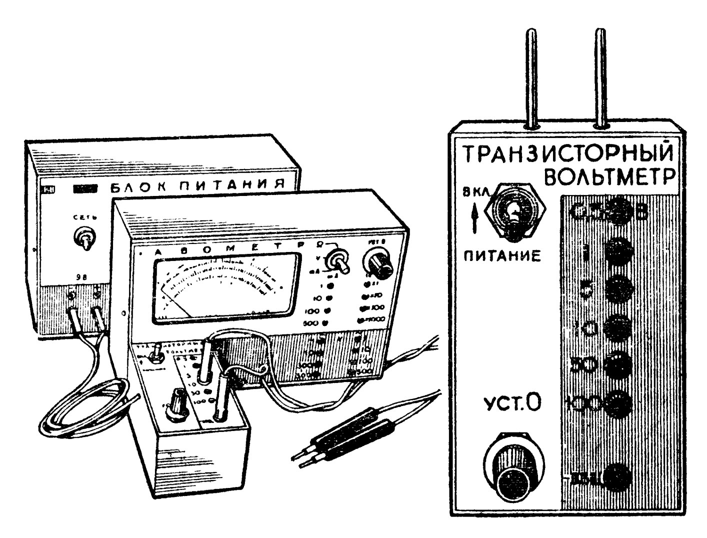


Рис. 31. Внешний вид вольтметра и соединение его с авометром и блоком питания

Чувствительность балансного усилителя по входу составляет 5...7 мкА при использовании микроамперметра с током $I_и$=100 мкА. Для того чтобы в качестве добавочных можно было использовать резисторы стандартных номиналов, чувствительность балансного усилителя с помощью переменного резистора R7 искусственно уменьшают до 10 мкА.

Питается прибор стабилизированным напряжением 9 В, снимаемым с нерегулируемого выхода сетевого блока питания. Поскольку для работы вольтметра вполне достаточно напряжения питания 3...3,5 В, введена еще одна ступень стабилизации на кремниевом стабилитроне VD1. Двухступенчатая стабилизация питающего напряжения снижает погрешность измерений при значительных колебаниях напряжения электросети.

Для питания вольтметра можно также использовать встроенную в него батарею гальванических элементов или аккумуляторов напряжением 3...3,5 В, несколько увеличив для этого габариты приставки. Следует учесть, что в этом случае по мере разрядки батареи питания погрешность измерений будет возрастать.

Конструкция и детали. Общий вид приставки-вольтметра вместе с авометром и блоком питания показан на рис. 31. Несущий элемент конструкции приставки — корпус 1 (рис. 32), изготовленный из листового алюминиевого сплава АМц-П толщиной 1 мм. Из такого же материала согнута и крышка 2. С корпусом она соединена винтами М2 с потайными головками. Этими же винтами к крышке прикреплена пластина 3, выполняющая функции приборных ножек и обеспечивающая необходимое расстояние между штепселями, соединяющими приставку с авометром, и плоскостью стола. Пластину можно изготовить из любого изоляционного материала толщиной 3,5...4 мм.

Штепсельную колодку 5 можно изготовить из гетинакса или текстолита толщиной 2...3 мм, а сами штепсели 4 — из отрезков латунного прутка диаметром 3 и длиной 30...32 мм с резьбой М3 на конце. Штепсели ввинчивают в

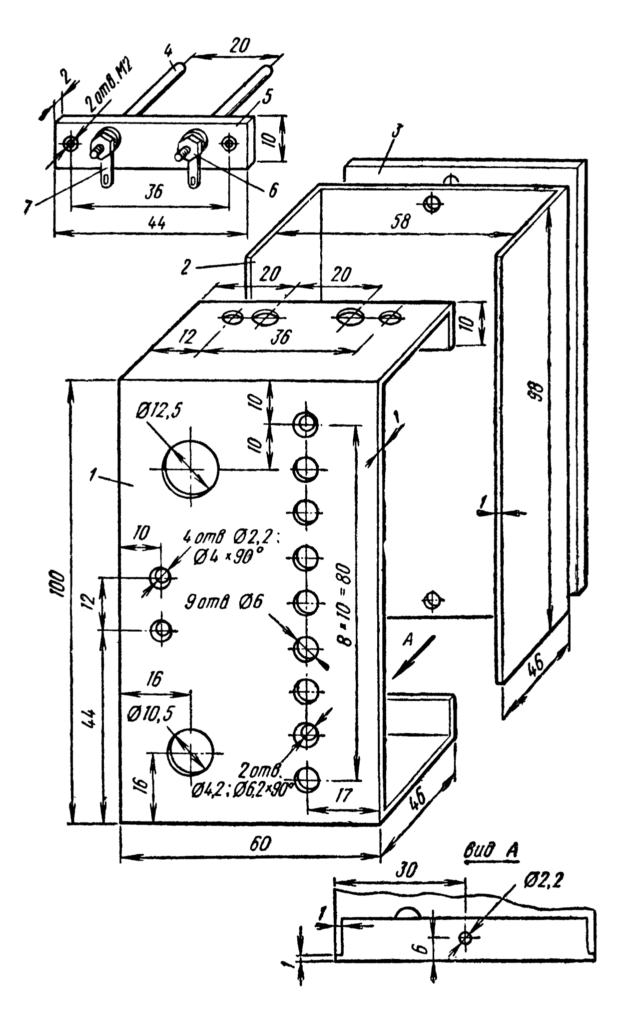


Рис. 32. Устройство корпуса вольтметра-приставки и штепсельной колодки для подключения его к авометру

резьбовые отверстия в колодке и окончательно закрепляют гайками 6. Предварительно под гайки подкладывают монтажные лепестки 7. Колодку крепят к корпусу винтами М2×6 с потайными головками.

Монтаж деталей в корпусе приставки показан (с двух сторон) на рис. 33. На лицевой панели (на рис. 33 она обращена вниз) закреплены переменный резистор R9 («Уст. 0), выключатель питания Q1, колодка с гнездами XS1 — XS7 и двухпроводный шнур, оканчивающийся штепселями для подключения к блоку питания. На боковой стенке корпуса расположена штепсельная колодка для подключения приставки к микроамперметру авометра.

Как и в авометре, надписи, поясняющие назначение прибора, его гнезд и органов управления, нанесены на склеенные встык полосы бумаги двух цветов и защищены от повреждений накладкой из органического стекла толщиной 2 мм. Для крепления накладки к корпусу приставки использованы гайки тумблера-выключателя питания Q1 и переменного резистора R9.

Рис. 33. Вид на монтаж транзисторного вольтметра

Устройство колодки с гнездами XS1 — XS7 показано на рис. 34. Контакты 4 закреплены на колодке 6 винтами 5. Сама колодка 6 закреплена на корпусе приставки винтами 8 (М3×6 с потайной головкой), ввинченными в ее резьбовые отверстия с внешней стороны корпуса 7. В эти же отверстия, но с другой стороны, ввинчены винты 1 (М3×12), крепящие монтажную плату 3.

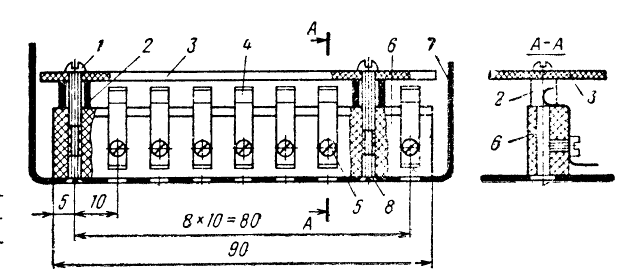


Рис. 34. Устройство гнездовой колодки и крепление ее в корпусе вольтметра

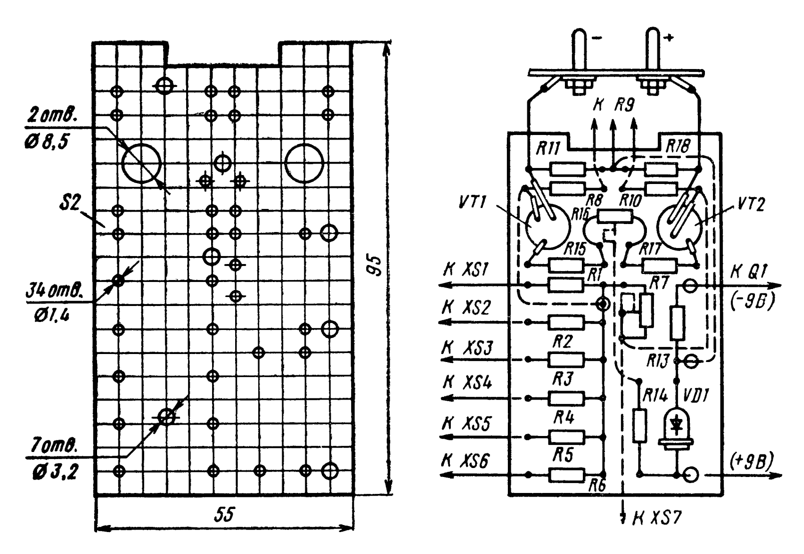


Рис. 35. Разметка монтажной платы вольтметра и размещение деталей на ней

Для создания необходимого зазора между платой и колодкой на винты 1 надеты трубчатые стойки 2 высотой 6 мм.

Разметка монтажной платы 3 и монтажная схема вольтметра показаны на рис. 35. Плата изготовлена из листового гетинакса толщиной 2 мм, монтажные стойки — из медной луженой проволоки диаметром 1,5 мм. Все соединения на плате выполнены медным луженым проводом диаметром 0,5 мм. В местах пересечений на него надеты отрезки поливинилхлоридной трубки. Для соединения монтажной платы с деталями, закрепленными на корпусе, применен гибкий монтажный провод МГШВ сечением 0,14 мм^2.

В вольтметре использованы следующие детали: переменные резисторы СП-I (R9), СПО-0,5 (R16), СП3-1б (R7); постоянные резисторы МЛТ-0.5, тумблер ТП1-2 (Q1); транзисторы со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21э} \approx 50$ (40...60).

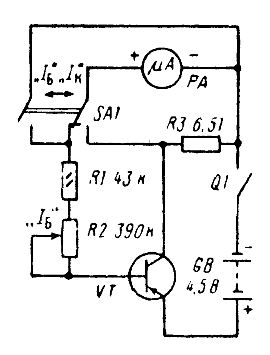


Рис. 36. Схема подбора транзисторов для вольтметра

Стабилитрон КС133А можно заменить четырьмя плоскостными кремниевыми диодами (например, серии Д226), включив их последовательно в прямом направлении.

Очень важно, чтобы транзисторы имели одинаковые характеристики прямой передачи тока (зависимость тока коллектора от тока базы) и обратные токи коллектора $I_{КБО}$ не более 2...3 мкА. Для подбора пары транзисторов удобно воспользоваться измерительной схемой, изображенной на рис. 36. Здесь VT — проверяемый транзистор, PA — микроамперметр авометра, переменный резистор R2 служит для установки тока базы, резистор R1 ограничивает его при установке движка резистора R2 в крайнее верхнее (по схеме) положение, резистор R3 — шунт, увеличивающий пре-

дел измерения тока микроамперметром РА до 10 мА. В положении переключателя SA1, показанном на схеме, прибором РА измеряют ток базы транзистора VT (устанавливают его переменным резистором R2), в положении «$I_к$»— соответствующий ему ток коллектора. Батарея GB — 3336Л или три любых гальванических элемента (332, 343, 373). Последовательно устанавливая токи базы от 10 до 80...100 мкА (через каждые 5...10 мкА), фиксируют соответствующие им токи коллектора и отбирают из числа имеющихся транзисторов экземпляры с наиболее близкими характеристиками. Обратные токи коллектора измеряют при температуре 15 и 40 °С. Для вольтметра пригодны транзисторы, у которых этот параметр при указанных температурах примерно одинаков (допустимая разница — не более 10...20%).

Предварительно вольтметр целесообразно собрать и наладить на макетной монтажной панели и только после этого перенести детали на монтажную плату прибора.

Налаживание вольтметра начинают с установки тока стабилизации стабилитрона VD1. Для этого провод, соединяющий резистор R14 с движком переменного резистора R16 (рис. 35), временно отпаивают, а цепь, состоящую из резистора R13 и стабилитрона, через миллиамперметр, рассчитанный на ток 50... 100 мА, подключают к выпрямителю. Подбором резистора R13 устанавливают ток через стабилитрон в пределах 25...30 мА, после чего восстанавливают соединение между резисторами R14 и R16.

Далее движки резисторов R9 и R16 устанавливают в среднее положение и, включив питание вольтметра, резистором R9 устанавливают стрелку микроамперметра на нулевую отметку шкалы. Затем выводы без транзисторов временно соединяют проволочной перемычкой и с помощью подстроечного резистора R16 добиваются отсутствия тока через микроамперметр. После этого проводник, соединяющий выводы баз транзисторов, удаляют и резистором R9 снова устанавливают стрелку на нулевую отметку шкалы. Эти операции повторяют несколько раз, пока стрелка микроамперметра не перестанет реагировать ни на соединение баз, ни на их разъединение.

Если в усилителе вольтметра применены транзисторы со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21э}$=45...50, то на этом налаживание прибора заканчивается. В случае же, если коэффициент $h_{21э}$ транзисторов меньше этого значения, например не выходит за пределы 30...40, сопротивление резисторов R8 и R10 необходимо уменьшить до 22...27 кОм.

Калибровка транзисторного вольтметра постоянного тока практически не отличается от описанной в предыдущем разделе калибровки авометра в режиме измерения постоянного напряжения (см. с. 31). Для калибровки вольтметра на первых четырех пределах (0,5; 1; 5 и 10 В) можно использовать блок питания с регулируемым выходным напряжением. Установив по образцовому вольтметру напряжение 1 В, включают соединительные провода в гнезда «—Общ.» и «1 В» калибруемого прибора и, перемещая движок подстроечного резистора R7, устанавливают стрелку микроамперметра на последнюю отметку шкалы постоянных напряжений.

При калибровке остальных пределов измерений резистор R7 не трогают, а подбирают соответствующие включенному пределу добавочные резисторы R1 и R3 — R6.

Для калибровки пределов 50 и 100 В необходим источник постоянного то-

ка напряжением 100...110 В. Им может быть выпрямитель любого лампового приемника.

Закончив калибровку, детали переносят с макетной панели на монтажную плату вольтметра. В последнюю очередь подпаивают переменные резисторы R7 и R16. В полностью собранном приборе проверяют балансировку усилителя и калибровку на одном из пределов измерений. Если во время монтажа движки подстроечных резисторов R7 и R16 случайно сдвинутся, то еще раз балансируют и корректируют чувствительность усилителя, после чего движки этих резисторов фиксируют каплями нитрокраски.

Пользуясь описанным вольтметром, время от времени проверяют и при необходимости резистором R9 корректируют балансировку усилителя, устанавливая стрелку микроамперметра на нулевую отметку шкалы.

ТРАНЗИСТОРНЫЙ ВОЛЬТМЕТР ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Этот прибор лаборатории предназначен для измерения среднеквадратических (эффективных) значений напряжений низкочастотных сигналов синусоидальной формы. Он особенно необходим при налаживании, ремонте различных по назначению усилителей звуковой частоты. Конструктивно прибор выполнен так же, как описанный перед этим транзисторный вольтметр постоянного тока, т. е. в виде приставки к авометру. Приставка снабжена штепсельной колодкой, с помощью которой ее через гнезда «100 мкА» соединяют с микроамперметром авометра. При этом переключатель вида измерений авометра должен быть установлен в среднее положение («V»). Питается приставка стабилизированным напряжением 9 В блока питания, входящего в состав лаборатории.

У вольтметра четыре предела измерений: 0,1; 1; 10 и 100 В. Переход с одного предела на другой осуществляется перестановкой штепселя соединительного провода в соответствующее гнездо приставки. С достаточной для радиолюбительской практики точностью прибором можно измерять напряжение переменного тока частотой примерно от 20 Гц до 20 кГц. На частотах выше 20 кГц погрешность измерений возрастает.

Относительное входное сопротивление вольтметра на частоте 1 кГц — 33 кОм/В. При измерении напряжений частотой выше 20 кГц относительное входное сопротивление снижается из-за влияния паразитных входных емкостей.

Вольтметр выполнен на основе двухкаскадного усилителя звуковой частоты с двухтактным бестрансформаторным оконечным каскадом, работающим в режиме В (т. е. при токе покоя, близком к нулю). Ток оконечного каскада такого усилителя прямо пропорционален входному напряжению. Следовательно, по показаниям стрелочного измерительного прибора, включенного в выходную цепь усилителя, можно судить о значении входного напряжения.

Принципиальная схема вольтметра переменного тока показана на рис. 37. Измеряемое напряжение через одно из гнезд XS1 — XS4 пределов измерений, добавочные резисторы R1 — R4 и конденсатор C1 подается на базу транзистора VT1 первого каскада усилителя.

Добавочные резисторы R1 — R4 понижают измеряемое напряжение до 0,1 В. Основное усиление измеряемого напряжения осуществляется первым каскадом, поэтому для него следует подобрать транзистор с возможно бóльшим стати-

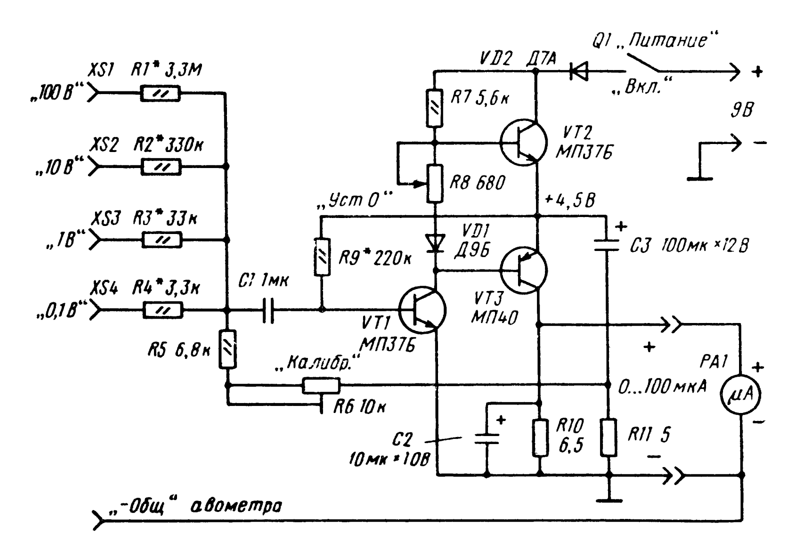


Рис. 37. Принципиальная схема транзисторного вольтметра переменного тока

ческим коэффициентом передачи тока $h_{21э}$. В оконечном двухтактном каскаде работают транзисторы VT2 и VT3, гальванически связанные с VT1 первого каскада. Минимальный ток покоя оконечного каскада, соответствующий нулевой отметке шкалы, устанавливают переменным резистором R8. Нагрузкой усилителя служит резистор R11, подключенный к его выходу через оксидный конденсатор C3 довольно большой емкости.

В усилитель введены две цепи отрицательной обратной связи: по переменному и постоянному токам. Первая служит для изменения чувствительности (калибровки) усилителя, вторая — для повышения стабильности режимов работы транзисторов.

Обратную связь по переменному току образует цепь, состоящая из конденсатора C3 и резисторов R6 и R5. Ее глубину, а следовательно, и чувствительность усилителя изменяют подстроечным резистором R6.

Напряжение обратной связи по постоянному току подается на базу транзистора VT1 с эмиттеров транзисторов VT2 и VT3 через резистор R9. Благодаря этой обратной связи изменение напряжения на эмиттерах транзисторов VT2 и VT3 сопровождается автоматическим увеличением или уменьшением тока транзистора VT1, что, в свою очередь, ведет к уменьшению или, наоборот, увеличению напряжения смещения на базах транзисторов VT2 и VT3. В результате режим усилителя по постоянному току поддерживается практически постоянным.

Микроамперметр авометра PA, зашунтированный проволочным резистором R10, включен в коллекторную цепь транзистора VT3. Сопротивление этого шунта подобрано так, что полное отклонение стрелки микроамперметра соответствует току, равному 10 мА.

Для повышения температурной стабильности усилителя в базовую цепь транзисторов оконечного каскада включен диод VD1. Диод VD2 защищает транзисторы при случайном подключении приставки к источнику питания в непра-

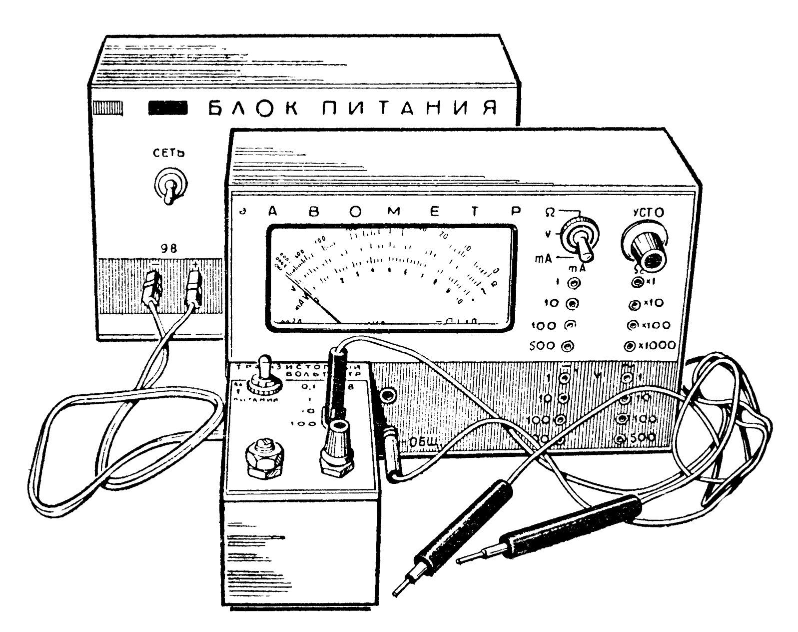


Рис. 38. Внешний вид вольтметра переменного тока с авометром и блоком питания

вильной полярности (подобную меру защиты целесообразно предусмотреть и в остальных приборах лаборатории, питающихся от внешнего источника).

Конструкция и детали. Внешний вид вольтметра вместе с авометром и блоком питания показан на рис. 38, монтаж деталей самой приставки — на рис. 39. Корпус с крышкой и четырехгнездная колодка выполнены точно так же, как в приставке транзисторного вольтметра постоянного тока (см. рис. 32 и 34). Подстроечный резистор R6 и переменный резистор R8, выключатель питания Q1, колодка с гнездами XS1 — XS4 закреплены непосредственно на верхней стенке корпуса, являющейся лицевой панелью приставки. Гетинаксовая монтажная плата, на которой установлены все остальные детали приставки, закреплена на гнездовой колодке с помощью двух винтов M3×12, на которые надеты трубчатые стойки высотой 6 мм. Все надписи выполнены на плотной бумаге, закрытой сверху пластиной листового бесцветного органического стекла толщиной 2 мм. Двухпроводный шнур со штепселями для подключения к блоку питания закреплен на верхней стенке корпуса приставки с помощью небольшой алюминиевой скобы и двух винтов с гайками М2.

Разметка верхней стенки корпуса и схема соединений деталей на монтажной плате вольтметра показаны соответственно на рис. 40, а и б

В приборе использованы постоянные резисторы МЛТ (допускаемое отклонение сопротивлений от номиналов резисторов R1 — R4 — не более ±5%, остальных — ±10%), конденсаторы МБМ (C1), К50-6 (C2) и К50-3А (C3). Переменные резисторы R6 и R8 — СП-I группы А. Проволочные резисторы R10 и R11 (рис. 41) намотаны нихромовым проводом на гетинаксовой пластине размерами 55×10 мм, которую с помощью отрезков медной луженой проволоки, играющих роль выводов, монтируют на плате. Вместо германиевого диода Д7А (VD2)

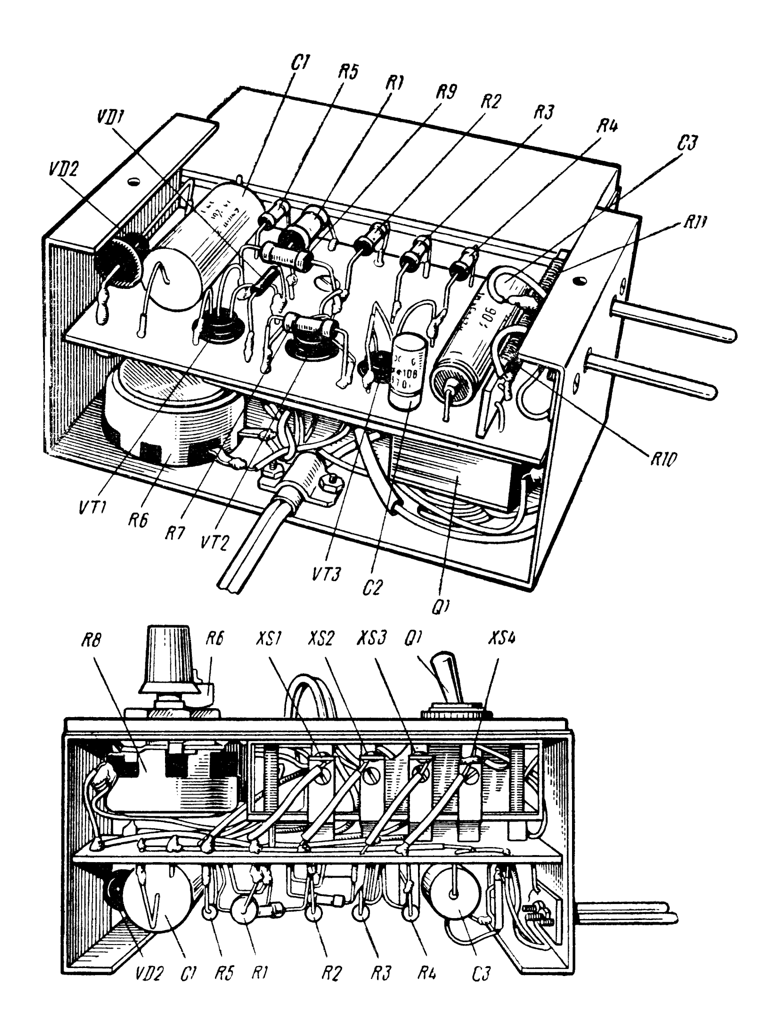


Рис. 39. Вид на монтаж вольтметра переменного тока

можно использовать любой другой диод этой серии, а вместо Д9Б (VD1) — любой точечный диод.

Статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$ транзисторов вольтметра должен быть не менее 60. Для работы в оконечном каскаде (VT2, VT3) необходимо отобрать транзисторы с возможно более близкими значениями коэффициента $h_{21э}$ и наименьшими обратными токами коллекторов $I_{КБ0}$. Как показали эксперименты, наилучшие результаты можно получить, используя в вольтметре кремниевые транзисторы КТ315Г (VT1 и VT2) и германиевый транзистор П416Б (VT3) с коэффициентом $h_{21э}$ более 100 и обратным током $I_{КБ0}$ в пределах 1...3 мкА. В этом случае сопротивление резистора R5 можно уменьшить до 3,9 кОм, а резистора R6 — до 3,3 кОм, одновременно увеличив сопротивление резисторов R8 и R9 соответственно до 2,2 кОм и 1 МОм.

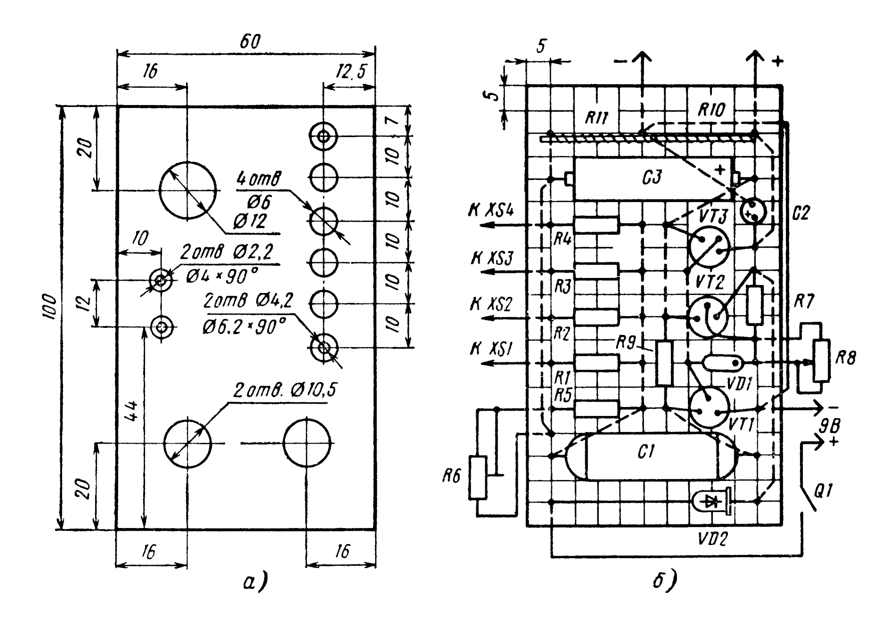


Рис. 40. Разметка верхней стенки корпуса вольтметра (а) и монтажной платы (б)

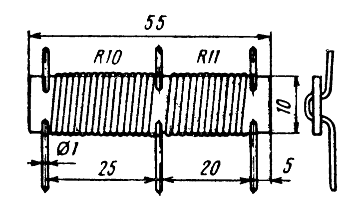


Рис. 41. Устройство проволочных резисторов R10 и R11

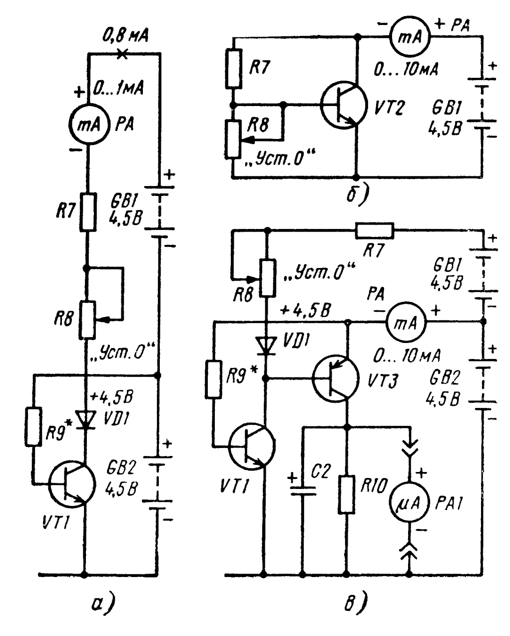


Рис. 42. Схемы включения миллиамперметра при покаскадном налаживании вольтметра переменного тока

Детали вольтметра целесообразно смонтировать вначале на макетной плате, наладить и откалибровать прибор, а затем перенести их на монтажную плату.

Налаживают вольтметр переменного тока покаскадно. Для налаживания первого каскада потребуются две батареи 3336Л, соединенные последовательно (на рис. 42, а — батареи GB1 и GB2). Требуемый ток коллектора транзистора VT1 (0,8 мА) устанавливают подбором резистора R9. При повороте движка переменного резистора R8 («Уст. 0») ток коллектора должен немного изменяться. Если диод VD2 включен неправильно, тока в коллекторной цепи вообще не будет.

При налаживании второго каскада нижний (по схеме) вывод резистора R8 временно припаивают к эмиттеру транзистора VT2 (рис. 42, б). Источником питания служит одна батарея 3336Л или постоянное напряжение 4,5 В, снимаемое с регулируемого выхода блока питания. Если детали исправны и нет ошибок в монтаже, при повороте движка резистора R8 коллекторный ток транзистора VT2 должен изменяться от 0 до 7...10 мА. Если максимальный ток окажется меньше этого значения, увеличить его можно подбором резистора R7 (в сторону меньших сопротивлений).

Затем налаживают соединенные вместе каскады на транзисторах VT1 и VT3 (рис. 42, в). При полностью введенном сопротивлении резистора R8 (верхнем положении движка) эмиттерный ток транзистора VT3 должен уменьшаться до нуля. Если этого не происходит, например из-за больших обратных токов коллекторов, то диод VD1 можно удалить. После этого вновь проверяют возможность установки стрелки прибора на нуль.

Далее, восстановив все соединения усилителя, на него через миллиамперметр на ток 10 мА подают постоянное стабилизированное напряжение 9 В и, перемещая движок резистора R8, убеждаются, что ток, потребляемый усилителем от источника питания, изменяется от 1 до 7...10 мА. Затем, установив резистором ток потребления 5...6 мА, проверяют напряжение в точке соединения эмиттеров транзисторов VT2 и VT3. Оно должно быть равно половине напряжения источника питания. Подгоняют это напряжение подбором резистора R9 или R7.

Для проверки работоспособности усилителя к его входу через конденсатор C1 можно подключить звукосниматель, а к выходу (вместо резистора R11) — динамическую головку со звуковой катушкой сопротивлением 4...6 Ом. Проигрываемая грампластинка должна звучать достаточно громко и без искажений.

Калибруют вольтметр по схеме, изображенной на рис. 43. В качестве источника переменного напряжения используют электросеть. Во избежание поражения электрическим током все операции, связанные с калибровкой, следует проводить с максимальной осторожностью, стараясь не касаться оголенных проводов и металлических деталей приборов.

Включив питание, прибору дают «прогреться» в течение 15...20 мин, после чего переменным резистором R8 («Уст. 0») ус-

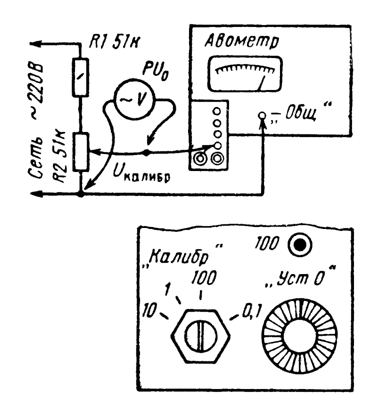


Рис. 43. Калибровка вольтметра переменного тока

танавливают стрелку микроамперметра на нулевую отметку шкалы. Переключив прибор на предел измерений 100 В, его вместе с образцовым вольтметром переменного тока подключают к переменному резистору R2 (движок этого резистора должен находиться в нижнем — по схеме — положении), входящему в делитель R1R2 напряжения сети. Установив по образцовому вольтметру калибровочное напряжение $U_{калибр}=100$ В, резистором налаживаемого прибора R6 («Калибр.») стрелку микроамперметра устанавливают на последнюю отметку шкалы, а на лицевой панели приставки напротив шлица на оси резистора R6 карандашом ставят отметку 100. Далее переменным резистором R2 сетевого делителя уменьшают входное напряжение ступенями по 10 В (90, 80, 70 и т. д.) и, контролируя его по образцовому вольтметру, определяют, какая из шкал авометра (~ или —) наиболее точно соответствует входному напряжению.

Точно так же калибруют остальные пределы измерений, уменьшая с помощью автотрансформатора напряжение на входе делителя. В результате возле оси резистора R6 («Калибр.) появятся четыре отметки. Если они почти сливаются, значит, добавочные резисторы R1 — R4 выбраны достаточно точно. Если же, наоборот, отметки удалены одна от другой (как, например, показано на рис. 43), то надо так подобрать добавочные резисторы R2 — R4, чтобы шлиц на оси калибровочного резистора все время оставался напротив одной из средних отметок, например напротив отметки 100. На этом калибровку вольтметра заканчивают и ось калибровочного резистора фиксируют в найденном положении.

Пользоваться прибором в процессе эксплуатации следует через 3...5 мин после включения питания, что необходимо для стабилизации теплового режима работы его элементов. После этого резистором «Уст. 0» стрелку микроамперметра устанавливают на нулевую отметку шкалы, и вольтметр готов к измерениям.

Во избежание большой погрешности измерений время от времени калибровку вольтметра проверяют и, если надо, корректируют.

ИСПЫТАТЕЛЬ МАЛОМОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

С помощью описываемого здесь прибора можно измерить обратный ток коллекторного перехода $I_{КБ0}$ и статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ маломощных транзисторов структур p-n-p и n-p-n.

Конструктивно испытатель транзисторов выполнен в виде приставки к авометру, так же как транзисторные вольтметры постоянного и переменного токов. Для соединения с микроамперметром авометра приставка снабжена штепсельной колодкой, которую при измерениях вставляют в гнезда «100 мкА» на передней панели авометра. При этом переключатель вида измерений авометра должен находиться в положении «V».

Питается прибор стабилизированным напряжением 9 В от нерегулируемого источника блока питания.

Прежде чем перейти к описанию принципиальной схемы испытателя, несколько слов о положенном в его основу принципе. Подавляющее большинство описанных в радиолюбительской литературе простых испытателей транзисторов рассчитано на измерение статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ при фиксированном токе базы (обычно — 100 мкА). Это облегчает измерения [шкалу прибора в цепи коллектора проверяемого транзистора можно отградуировать непосредственно в значениях $h_{12Э}=I_К R_Б/U_{GB}$, где U_{GB} — напряжение бата-

реи (см. рис. 20, б)], однако такие испытатели имеют существенный недостаток. Дело в том, что коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ в значительной мере зависит от режима работы транзистора и в первую очередь от тока эмиттера $I_Э$. Вот почему в справочниках всегда приводятся не только значения коэффициента передачи тока $h_{21Э}$, но и условия, в которых он измерен (ток $I_Э$ и напряжение между коллектором и эмиттером $U_{КЭ}$).

Статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ маломощных транзисторов обычно измеряют при токе $I_Э=0{,}5$ мА (низкочастотные маломощные транзисторы), 1 мА (остальные низкочастотные) или 10 мА (транзисторы, предназначенные для работы в импульсном режиме). Напряжение $U_{КЭ}$ при измерении этого параметра обычно близко к 5 В. Поскольку коэффициент $h_{21Э}$ мало зависит от $U_{КЭ}$, у транзисторов малой мощности (кроме высокочастотных) его можно измерять при одном и том же значении $U_{КЭ}$.

В испытателях, измеряющих статический коэффициент передачи тока при фиксированном токе базы, коллекторные (а следовательно, и эмиттерные) токи проверяемых транзисторов даже одного типа практически всегда разные. А это значит, что сопоставить результаты измерений со справочными данными (при определенном токе эмиттера) просто невозможно.

Приборы, в которых возможна установка любого заданного тока коллектора (или эмиттера), позволяют получить сопоставимые значения параметра $h_{21Э}$, однако такие испытатели неудобны в работе, так как требуют при каждом измерении устанавливать ток коллектора заново.

Этих недостатков нет у испытателя транзисторов, входящего в лабораторию. Он рассчитан на измерение статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ при нескольких фиксированных значениях стабилизированного тока эмиттера. Это позволяет оценить усилительные свойства транзистора в режиме, близком к рабочему, т. е. при токе, текущем через транзистор в устройстве, для которого он предназначен.

Упрощенная схема измерителя статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ при стабилизированном (фиксированном) токе эмиттера изображена на рис. 44. Проверяемый транзистор VT вместе с элементами испытателя образует стабилизатор тока. Напряжение на базе транзистора стабилизировано стабилитроном VD, поэтому в его эмиттерной (коллекторной) цепи течет ток, практически не зависящий от изменения напряжения источника питания GB. Этот ток можно рассчитать по формуле $I_Э=(U_{VD}-U_{ЭБ})/R2$, где $I_Э$ — эмиттерный ток (в амперах), U_{VD} — напряжение на стабилитроне (в вольтах), $U_{ЭБ}$ — падение напряжения на эмиттерном переходе транзистора (также в вольтах), R2 — сопротивление (в омах) резистора в эмиттерной цепи транзистора. Для получения разных токов через транзистор, в его эмиттерную цепь достаточно ввести переключатель с набором постоянных резисторов, сопротивления которых рассчитаны по приведенной формуле. Поскольку при фиксированном значении тока эмиттера ток базы обратно пропорционален статическому коэффициенту передачи тока $h_{21Э}$ (чем он больше, тем меньше ток базы, и наоборот), шкалу прибора PA в цепи базы проверяемого транзистора можно отградуировать в значениях $h_{21Э}$.

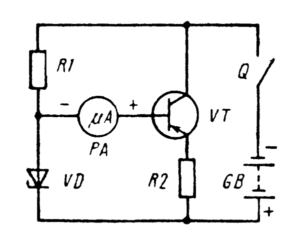


Рис. 44. Упрощенная схема измерителя коэффициента $h_{21Э}$ при фиксированном токе эмиттера

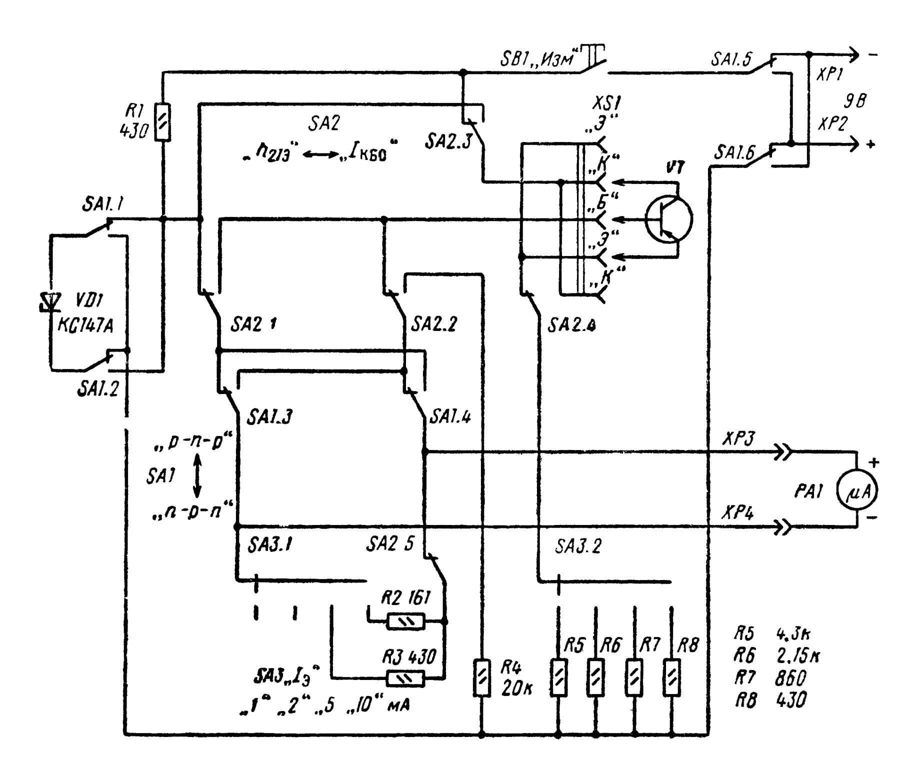


Рис. 45. Принципиальная схема испытателя транзисторов

Радиолюбителю приходится иметь дело как с германиевыми, так и с кремниевыми транзисторами. У первых напряжение $U_{ЭБ}$=0,2...0,3 В, у вторых $U_{ЭБ}$=0,6...0,7 В. Чтобы не усложнять прибор, при расчете сопротивлений резисторов, задающих эмиттерные токи, можно взять среднее значение падения напряжения на эмиттерном переходе, равное 0,4 В. В этом случае отклонение тока эмиттера при испытании любых маломощных транзисторов (и выбранном напряжении на стабилитроне U_{VD}=4,7 В) не превышает ±10% от номинального, что вполне допустимо.

Принципиальная схема испытателя транзисторов изображена на рис. 45. Он предназначен для измерения обратного тока коллектора $I_{КБО}$ до 100 мкА и статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ от 10 до 100 при токе эмиттера $I_Э$=1 мА и от 20 до 200 при токах эмиттера, равных 2; 5 и 10 мА. Ориентировочно можно измерить и бóльшие значения параметра $h_{21Э}$. Если, например, считать минимальный измеряемый ток базы равным 2 мкА, что соответствует одному делению шкалы микроамперметра М24, то при эмиттерном токе 1 мА можно регистрировать значения коэффициента $h_{21Э}$ до 500, при токах 2, 5 и 10 мА — до 1000. Следует учесть, что погрешность измерений таких значений $h_{21Э}$ может достигать десятков процентов.

Проверяемый транзистор VT подключают к гнездам розетки XS1. Эмиттерный ток, при котором необходимо измерить коэффициент $h_{21Э}$, выбирают переключателем SA3, включающим (секцией SA3.2) в эмиттерную цепь транзистора

один из резисторов R5 — R8. Для получения указанных пределов измерений коэффициента $h_{21э}$ (20...200) при токах эмиттера, равных 5 и 10 мА, в третьем и четвертом положениях переключателя SA3 параллельно микроамперметру PA1 авометра подключаются соответственно резисторы R3 и R2, в результате чего ток полного отклонения его стрелки возрастает в первом случае до 250, а во втором — до 500 мкА.

Из режима измерения коэффициента $h_{21э}$ в режим контроля обратного тока коллектора $I_{КБО}$ испытатель переводят переключателем SA2. Первый из этих параметров измеряют при напряжении на коллекторе (относительно эмиттера) около 4,7 В, второй — при таком же напряжении, снимаемом со стабилитрона VD1.

Переключателем SA1 изменяют полярность включения источника питания, микроамперметра PA1 и стабилитрона VD1 при испытании транзисторов разной структуры (p-n-p или n-p-n). Резистор R4, вводимый в цепь коллекторного перехода при измерении $I_{КБО}$, ограничивает ток через микроамперметр в случае, если переход оказывается пробитым. Ток $I_{КБО}$ и коэффициент $h_{21э}$ измеряют при нажатой кнопке SB1.

Конструкция и детали. Внешний вид испытателя транзисторов вместе с авометром показан на рис. 46, разметка его лицевой панели — на рис. 47, разметка монтажной платы и схема соединений деталей приставки — на рис. 48.

Как и в транзисторных вольтметрах, несущим элементом конструкции является корпус приставки, изготовленный из листового алюминиевого сплава АМц-П толщиной 1 мм. На лицевой панели (верхней стенке) закреплены кнопка SB1, плата с зажимами для подключения выводов транзисторов и четыре латунные стойки диаметром 4 и длиной 19 мм с резьбовыми отверстиями М2 (глубиной 6 мм) для винтов крепления монтажной платы, на боковой стенке — штепсельная колодка для соединения приставки с микроамперметром авометра.

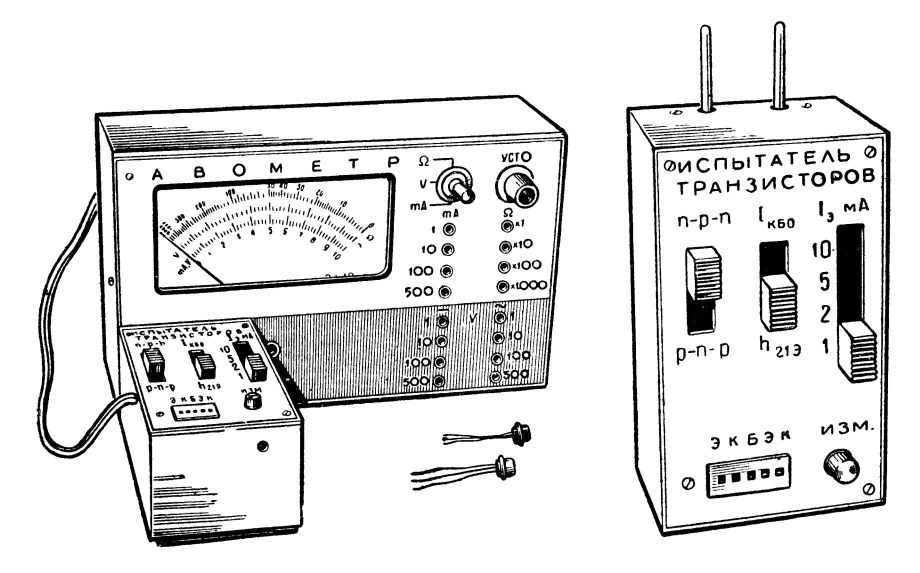


Рис. 46. Внешний вид испытателя транзисторов вместе с авометром и блоком питания

Рис. 47. Разметка верхней стенки корпуса

Рис. 49. Схема коммутации цепей переключателем SA3

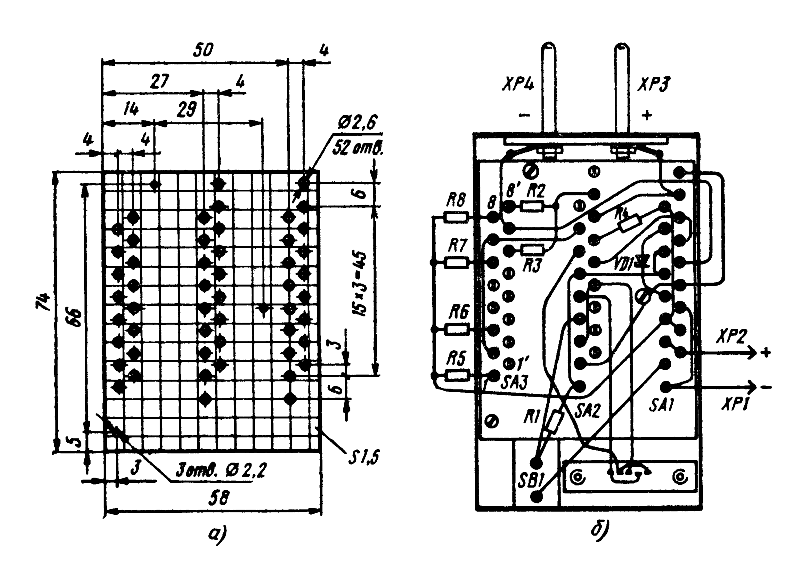


Рис. 48. Разметка монтажной платы и схема соединений деталей на ней

П-образная крышка (материал тот же, что и корпуса) с пластмассовой пластиной толщиной 3...4 мм прикреплена к корпусу винтами М2×8 с потайными головками. Винты ввинчены в гайки М2, приклеенные к полочкам корпуса с внутренней стороны.

Переключатели SA1 — SA3 — движковые от транзисторного радиоприемника «Сокол». Два из них (SA1 и SA2) использованы без переделки, третий (SA3) переделан в двухполюсный на четыре положения. Для этого удалены крайние неподвижные контакты (по одному в каждом ряду), а подвижные переставлены таким образом, чтобы обеспечивалась схема коммутации, изображенная на рис. 49.

Выводы контактов переключателей вставлены в отверстия ∅ 2,6 мм платы с обратной стороны (по рис. 48, а) и удерживаются на ней припаянными к ним соединительными проводами (МГШВ сечением 0,14 мм^2) и выводами резисторов R1 — R8 (МЛТ) и стабилитрона VD1. Резисторы R5 — R8 изображены за контуром платы условно, на самом деле они расположены между выводами переключателей SA3 и SA2.

Конструкция гнездовой колодки XS1 для подсоединения выводов транзисторов к испытателю показана на рис. 50. Ее корпус состоит из деталей 1 и 3, изготовленных из листового органического стекла и склеенных дихлорэтаном. Контакты 2 изготовлены из листовой бронзы (можно использовать твердую латунь) толщиной 0,3 мм. Чтобы к испытателю можно было подключать транзисторы различной конструкции и с разным расположением выводов, число контактов выбрано равным пяти, а расстояние между ними — 2,5 мм. К корпусу приставки колодка прикреплена двумя винтами М2×6 с потайными головками. Такими же винтами на боковой стенке корпуса закреплена штепсельная колодка, служащая для соединения приставки с микроамперметром авометра.

Устройство самодельной кнопки SB1 показано на рис. 51. Ее корпус состоит из деталей 2 и 5, выпиленных из органического стекла и склеенных ди-

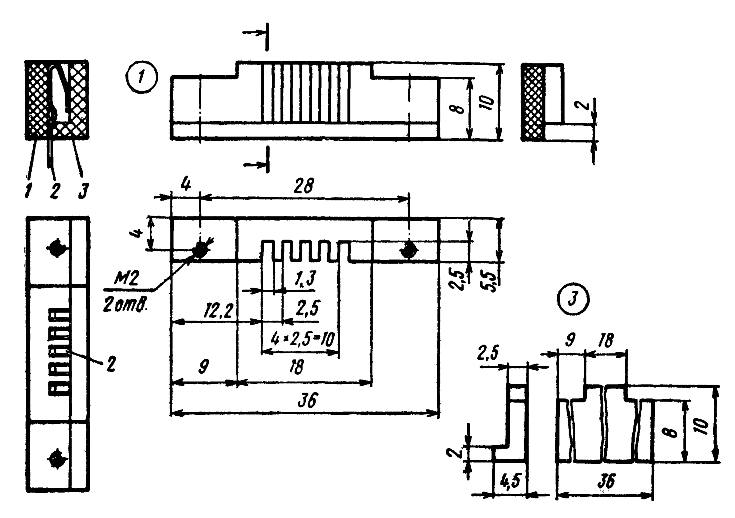


Рис. 50. Устройство колодки для подсоединения выводов транзисторов:
1, 3 — детали корпуса; 2 — контакт

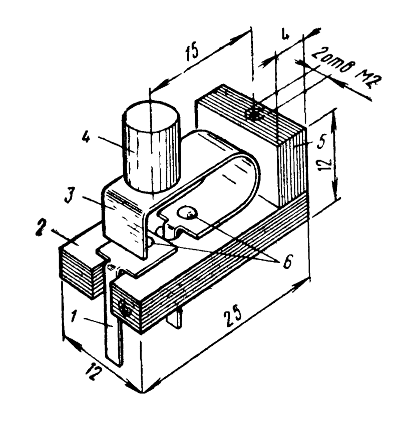


Рис. 51. Устройство кнопки:
1 — контакт неподвижный; 2, 5 — детали корпуса; 3 — контакт подвижный; 4 — кнопка; 6 — заклепки

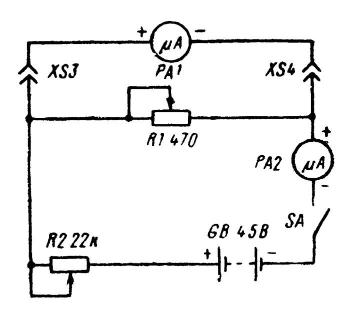


Рис. 52. Измерительная цепь для подбора резисторов R2 и R3

хлорэтаном. Контакты 1 и 3 закреплены на детали 2 заклепками 6. Сама кнопка 4 соединена с подвижным контактом 3 винтом М3×5. Для крепления кнопки к корпусу приставки в торцах деталей 2 и 5 предусмотрены резьбовые отверстия под винты М2. Контакты 1 и 3 изготовлены из того же материала, что и пружинящие контакты гнездовой колодки для подключения транзисторов, кнопка 4 — из полистирола (можно использовать органическое стекло, текстолит и т. д.).

Как и в ранее описанных приборах-приставках, для соединения с блоком питания лаборатории использован двухпроводный шнур, оканчивающийся штепселями диаметром 3 мм.

Все надписи выполнены на листе плотной бумаги и защищены от повреждений прозрачной накладкой из органического стекла толщиной 2 мм. Для крепления к корпусу использованы один из винтов крепления колодки для подключения транзисторов и три винта М2×5, ввинченные в резьбовые отверстия накладки.

Налаживание правильно смонтированного испытателя транзисторов сводится в основном к подбору резисторов R3 и R2. Первый подбирают таким образом, чтобы при подключении его к микроамперметру авометра верхний предел измерений повышался до 250 мкА, а второй — таким образом, чтобы он увеличивался до 500 мкА. Практически это удобно делать, собрав электрическую цепь (рис. 52) из микроамперметра авометра PA1, образцового микроамперметра PA2 с пределом измерения 300...500 мкА, батареи GB напряжением 4,5 В (3336Л или три любых гальванических элемента, соединенных последовательно), резистора-шунта R1, токоограничительного резистора R2 и выключателя SA. Установив движки резисторов R1 и R2 в крайнее левое (по схеме) положение (т. е. в положение, соответствующее их максимальному сопротивлению), замыкают электрическую цепь выключателем SA. Затем, попеременно уменьшая сопротивление обоих резисторов, добиваются того, чтобы при токе 250 мкА, отсчитанном по образцовому микроамперметру PA2, стрелка микроамперметра авометра PA1 установилась точно на последнюю отметку шкалы. После этого цепь разрывают и отключают приставку от авометра. Переключив последний

в режим омметра, измеряют сопротивление введенной части переменного резистора R1 и подбирают постоянный резистор (R3) точно такого же сопротивления (при необходимости его можно составить из двух параллельно или последовательно соединенных резисторов).

Аналогично, но по току в измерительной цепи, равному 500 мкА, подбирают резистор R2. Подобранные резисторы R3 и R2 устанавливают на плату.

Шкалу для измерения статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ (или таблицу, если нет желания или возможности разбирать микроамперметр авометра) рассчитывают по формуле $h_{21Э}=I_Э/I_Б$ (здесь $I_Э$ — ток эмиттера, соответствующий выбранному режиму измерений; $I_Б$ — выраженный в этих же единицах ток базы, отсчитанный по шкале микроамперметра, оба тока в милли- или микроамперах). Значения коэффициента $h_{21Э}$, соответствующие разным токам базы и эмиттера, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Ток базы, мкА	Коэффициент $h_{21Э}$ при токе эмиттера, мА		Ток базы, мкА	Коэффициент $h_{21Э}$ при токе эмиттера, мА		Ток базы, мкА	Коэффициент $h_{21Э}$ при токе эмиттера, мА	
	1	2, 5 и 10		1	2, 5 и 10		1	2, 5 и 10
100	10	20	30	33	66	12	83	166
80	12,5	25	25	40	80	10	100	200
70	14	28	20	50	100	8	125	250
60	17	34	18	55	110	6	167,5	335
50	20	40	16	62,5	125	4	250	500
40	25	50	14	71	142	2	500	1000

Проверку транзистора начинают с измерения тока коллекторного перехода $I_{КБ0}$. Для этого переключатель SA1 устанавливают в положение, соответствующее структуре испытываемого транзистора, SA2 — в положение «$I_{КБ0}$» и нажимают на кнопку SB1 («Изм.»). Убедившись в исправности перехода (у германиевых маломощных транзисторов ток $I_{КБ0}$ может достигать нескольких микроампер, у кремниевых он ничтожно мал), переключатель SA2 переводят в положение «$h_{21Э}$», переключателем SA3 устанавливают ток эмиттера, при котором необходимо определить коэффициент $h_{21Э}$, и, нажав на кнопку SB1, отсчитывают значение $h_{21Э}$ по шкале микроамперметра (или переводят измеренный ток базы в значение коэффициента, пользуясь таблицей).

Если в авометре использован микроамперметр с параметрами, отличающимися от приведенных в описании авометра, сопротивление резисторов R2 и R3 придется рассчитать и подобрать применительно к имеющемуся прибору.

ИЗМЕРИТЕЛЬ RCL

Этот прибор измерительной лаборатории с достаточной для радиолюбительской практики точностью позволяет измерять: сопротивление резисторов — от 10 Ом до 10 МОм, емкость конденсаторов — от 10 пФ до 10 мкФ, индуктивность катушек и дросселей — от 10...20 мкГн до 8...10 мГн. Метод из-

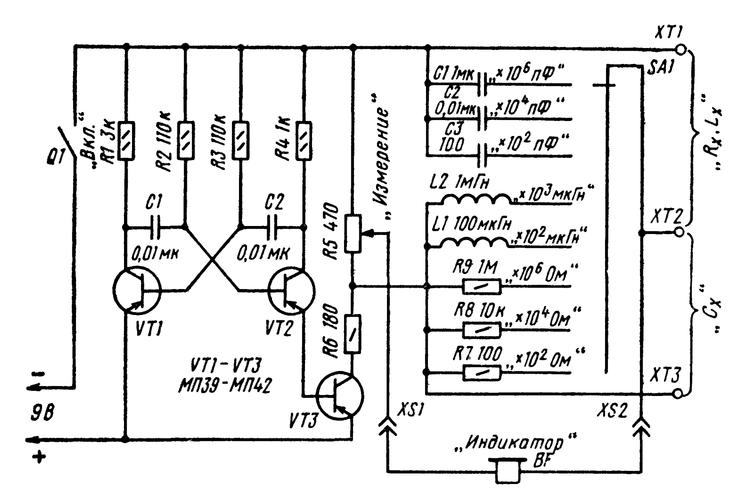


Рис. 53. Принципиальная схема измерителя RCL

мерения — мостовой. Индикация балансировки измерительного моста — звуковая с помощью головных телефонов. Точность измерений во многом зависит от тщательности подбора образцовых деталей и градуировки шкалы.

Принципиальная схема прибора изображена на рис. 53. Измеритель состоит из простейшего реохордного измерительного моста, генератора электрических колебаний звуковой частоты и усилителя тока. Питается прибор постоянным напряжением 9 В, снимаемым с нерегулируемого выхода блока питания лаборатории. Прибор можно питать и от автономного источника, например батареи «Крона», аккумуляторной батареи 7Д-0,115 или двух соединенных последовательно батарей 3336Л. Прибор сохраняет работоспособность при снижении напряжения питания до 3...4,5 В, однако громкость сигнала в телефонах, особенно при измерении небольших емкостей, в этом случае заметно падает.

Генератор, питающий измерительный мост, представляет собой симметричный мультивибратор на транзисторах VT1 и VT2. Конденсаторы C1 и C2 создают между коллекторными и базовыми цепями транзисторов положительную обратную связь по переменному току, благодаря чему мультивибратор самовозбуждается и генерирует электрические колебания, близкие по форме к прямоугольным. Резисторы и конденсаторы мультивибратора подобраны таким образом, что он генерирует колебания частотой около 1000 Гц. Напряжение такой частоты воспроизводится телефонами (или динамической головкой) примерно как звук «си» второй октавы.

Электрические колебания мультивибратора усиливаются усилителем на транзисторе VT3 и с его нагрузочного резистора R5 поступают в диагональ питания измерительного моста. Переменный резистор R5 выполняет функции реохорда. Плечо сравнения образуют образцовые резисторы R7—R9, конденсаторы C1—C3 и катушки индуктивности L1 и L2, поочередно включаемые в мост переключателем SA1. Измеряемый резистор R_x или катушку индуктивности L_x подсоединяют к зажимам XT1, XT2, а конденсатор C_x — к зажимам XT2, XT3. Головные телефоны BF1 включают в измерительную диагональ моста через гнезда XS1 и XS2. При любом виде измерений мост балансируют реохор-

дом R5, добиваясь полного пропадания или наименьшей громкости звука в телефонах. Сопротивление R_x, емкость C_x или индуктивность L_x отсчитывают по шкале реохорда в относительных единицах.

Множители возле переключателя вида и пределов измерений SA1 показывают, на сколько ом, микрогенри или пикофарад надо умножить отсчитанное по шкале показание, чтобы определить измеряемое сопротивление резистора, емкость конденсатора или индуктивность катушки. Так, например, если при балансе моста считанное со шкалы реохорда показание равно 0,5, а переключатель SA1 находится в положении «$\times 10^4$ пФ», то емкость измеряемого конденсатора C_x равна 5000 пФ (0,005 мкФ).

Резистор R6 ограничивает коллекторный ток транзистора VT3, возрастающий при измерении индуктивности, и тем самым предотвращает возможный тепловой пробой транзистора.

Конструкция и детали. Внешний вид и конструкция прибора показаны на рис. 54. Большая часть деталей размещена на монтажной плате из гетинакса,

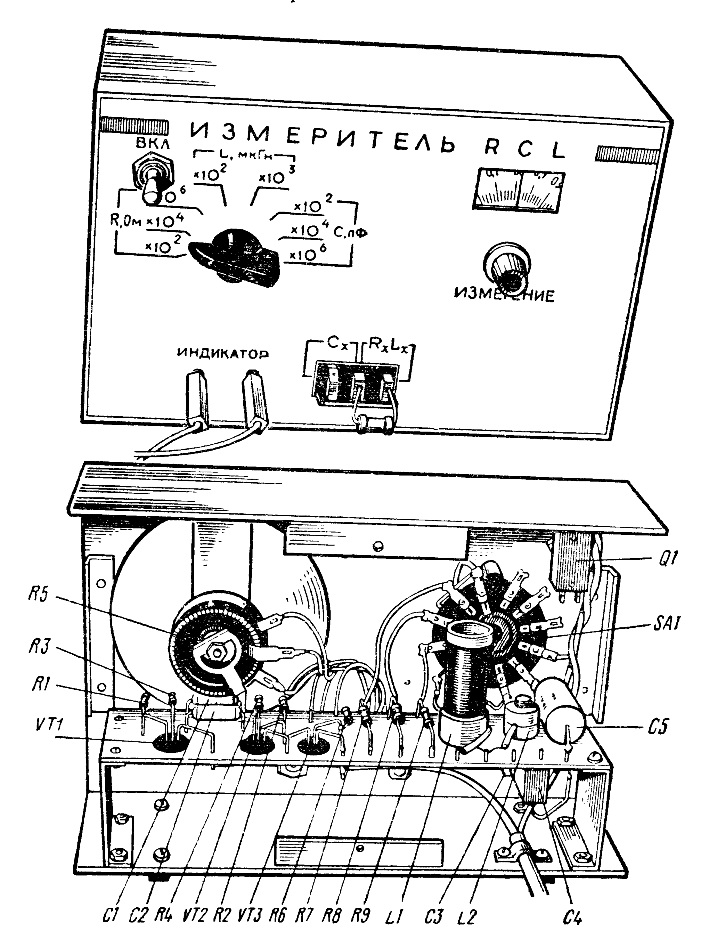


Рис. 54. Внешний вид и конструкция измерителя RCL

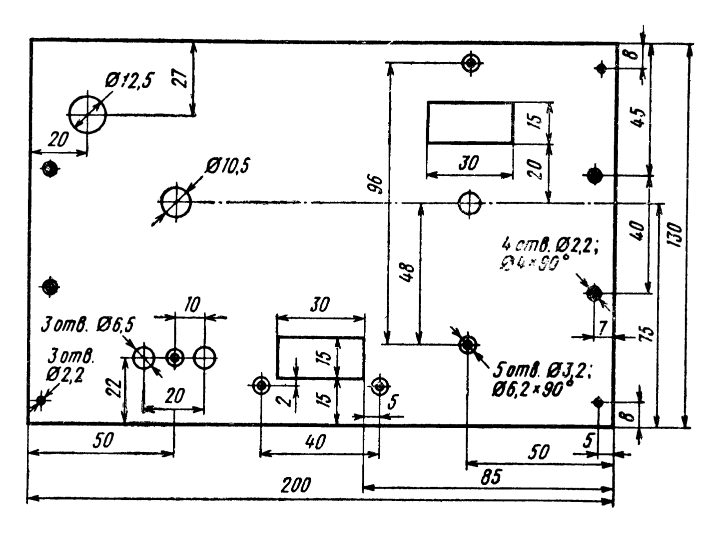


Рис. 55. Разметка передней стенки корпуса

закрепленной в корпусе на П-образных кронштейнах высотой 35 мм. Под монтажной платой можно установить батарею автономного питания прибора. Переключатель SA1, выключатель питания Q1 и колодка с гнездами XS1, XS2 для подключения головных телефонов закреплены непосредственно на передней стенке корпуса.

Разметка отверстий в передней стенке корпуса показана на рис. 55. Прямоугольное отверстие размерами 30×15 мм в нижней части стенки предназначено для выступающих вперед зажимов XT1 — XT3. Такое же отверстие в правой части стенки является «окном» шкалы, круглое отверстие под ним предназначено для валика переменного резистора R5. Отверстие диаметром 12,5 мм предназначено для выключателя питания, функции которого выполняет тумблер ТВ2-1, отверстие диаметром 10,5 мм — для галетного переключателя SA1 на 11 положений (используется только восемь) и одно направление. Пять отверстий диаметром 3,2 мм с зенковкой служат для винтов крепления гнездовой колодки, полочки с зажимами XT1 — XT3 и кронштейна резистора R5, четыре отверстия диаметром 2,2 мм (также с зенковкой) — для заклепок крепления уголков, к которым привинчивают крышку.

Надписи, поясняющие назначение ручек управления, зажимов и гнезд, выполнены на плотной бумаге, которая затем накрывается пластиной из прозрачного органического стекла толщиной 2 мм. Для крепления этой накладки к корпусу использованы гайки выключателя питания Q1, переключателя SA1 и три винта М2×4, ввинченные в резьбовые отверстия в накладке с внутренней стороны корпуса.

Конструкция зажимов для подключения к прибору резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности, параметры которых надо измерить, показана на рис. 56. Каждый зажим состоит из деталей 2 и 3, закрепленных на гетинаксовой плате 1 заклепками 4. Соединительные провода припаивают к монтажным лепесткам 5. Детали зажимов изготавливают из твердой латуни или бронзы тол-

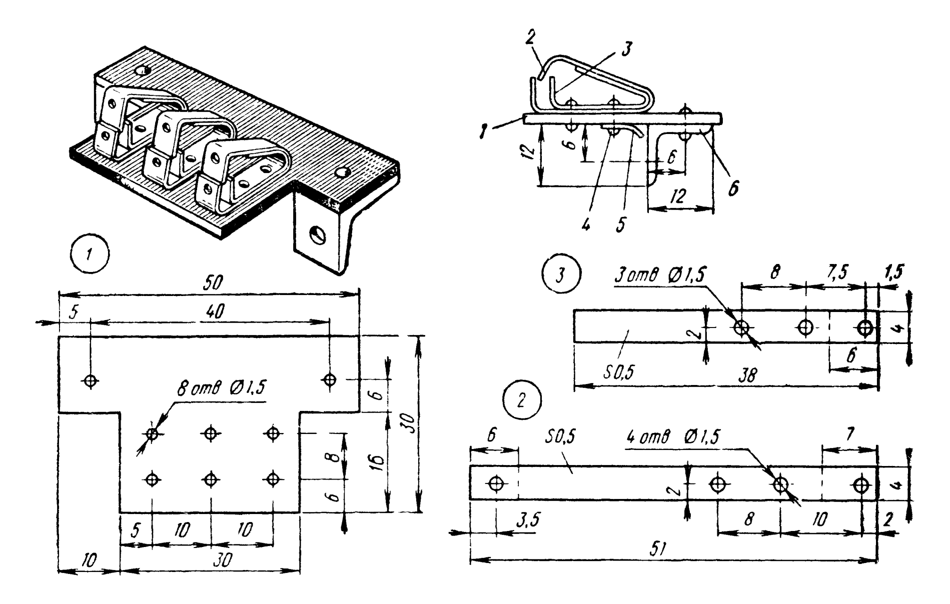


Рис. 56. Устройство колодки с зажимами для подсоединения выводов радиодеталей:

1 — плата; 2, 3 — пружинящие контакты; 4 — заклепки; 5 — монтажный лепесток; 6 — уголок

щиной 0,4...0,5 мм. При работе с прибором нажимают на верхнюю часть детали 2 до совмещения отверстия в ней с отверстиями в нижней части этой же детали и детали 3 и вставляют в них вывод измеряемой детали. Необходимое контактное давление создается за счет пружинящих свойств материала, из которого изготовлены зажимы.

Пластина с зажимами закреплена на передней стенке прибора с помощью двух уголков 6 с внутренней стороны. Колодка с гнездами для подключения телефонов — такая же, как в ранее описанных приборах.

Устройство шкального механизма измерителя показано на рис. 57. Кронштейн 4, с помощью которого резистор 5 (R5) установлен на передней стенке 2 корпуса, согнут из полосы листового алюминиевого сплава размерами 140×20×2 мм. На валик резистора туго насажена втулка с резьбой, на которой гайками закреплен металлический диск 3 диаметром 80 мм со шкалой, выполненной на плотной бумаге. Окончательно кронштейн с резистором закрепляют на передней стенке корпуса после того, как шкала будет отградуирована и приклеена к диску. Значения относительных единиц на шкале увеличи-

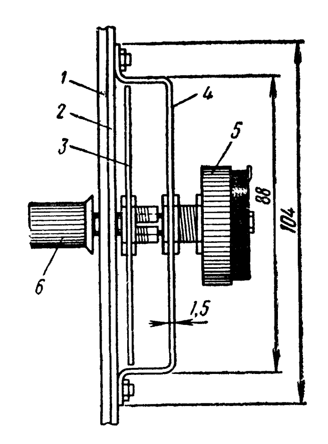


Рис. 57. Устройство шкального механизма:

1 — накладка; 2 — передняя стенка корпуса; 3 — диск со шкалой; 4 — кронштейн; 5 — переменный резистор R5 (реохорд); 6 — ручка «Измерение»

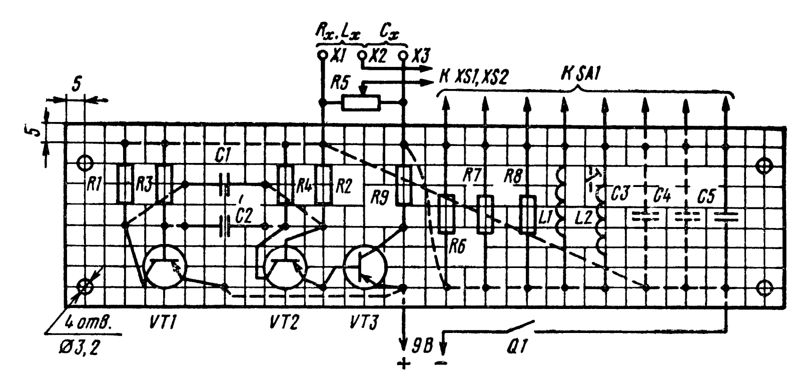


Рис. 58. Разметка монтажной платы и схема соединений деталей на ней

ваются при вращении ручки реохорда R5 («Измерение») в направлении, противоположном движению часовой стрелки. Указателем шкалы служит отрезок тонкой стальной проволоки, приклеенный к краям ее «окна» с внутренней стороны передней стенки корпуса.

В описываемом измерителе RCL функции реохорда выполняет проволочный переменный резистор сопротивлением 470 Ом. Однако его сопротивление может быть и значительно больше — до нескольких килоом. Валик резистора наращен с таким расчетом, чтобы его конец можно было пропустить через отверстие в передней стенке корпуса 2 и накладке 1 и насадить на него ручку управления 6 («Измерение»). Применять переменные резисторы типа ВК или СП-I нежелательно, так как они менее стабильны, чем проволочные.

Разметка монтажной платы (гетинакс, текстолит толщиной 1,5...2 мм) и схема соединений деталей на ней показаны на рис. 58.

Для мультивибратора и усилителя можно использовать низкочастотные маломощные транзисторы структуры p-n-p, резисторы и конденсаторы любых типов. Что же касается образцовых резисторов R7—R9, конденсаторов C1—C3, то их необходимо подобрать с точностью не хуже 1...2%. Параметры этих деталей желательно проверить на приборе заводского изготовления.

Образцовая катушка L1, индуктивность которой должна быть равна 100 мкГн, содержит 96 витков провода ПЭВ-1 0,2, намотанного виток к витку на цилиндрическом каркасе внешним диаметром 17,5 мм, или 80 витков такого же провода, намотанного на каркасе диаметром 20 мм. В качестве каркаса можно использовать картонные гильзы патронов для охотничьих ружей 20- или 12-го калибра. Каркас катушки насажен на кружок, выпиленный из гетинакса и приклеенный к монтажной плате клеем ВФ-2.

Индуктивность образцовой катушки L2 в десять раз больше (1 мГн). Она содержит 210 витков провода ПЭВ-1 0,12, намотанного на унифицированном трехсекционном полистироловом каркасе, и помещена в карбонильный броневой магнитопровод СБ-12а. Ее индуктивность подгоняют подстроечником, входящим в комплект магнитопровода. Последний приклеен к монтажной плате клеем БФ-2.

Индуктивность обеих катушек желательно подогнать до установки в измеритель. Лучше всего это сделать с помощью прибора заводского изготовления. Следует отметить, что если первую катушку изготовить точно по описанию, то

она будет иметь близкую к необходимой индуктивность и по ней в собранном измерителе можно будет подогнать индуктивность второй катушки.

Налаживание прибора, градуировка шкалы. Если в измерителе использованы предварительно проверенные и отобранные транзисторы, резисторы и конденсаторы, мультивибратор и усилитель должны нормально работать без какого-либо налаживания. В этом нетрудно убедиться, соединив проволочной перемычкой зажимы XT1 и XT2 или XT2 и XT3. В телефонах должен появиться звук, громкость которого изменяется при перемещении движка реохорда из одного крайнего положения в другое. Если звука нет, значит, допущена ошибка в монтаже мультивибратора или неправильно подключен источник питания.

Желательную высоту (тон) звука в телефонах можно подобрать изменением емкости конденсатора C1 или C2. С уменьшением их емкости высота звука повышается, а с увеличением — понижается.

Поскольку шкала прибора общая для всех видов и пределов измерений, ее можно отградуировать на одном из пределов с помощью магазина сопротивлений. Допустим, что шкала прибора градуируется на поддиапазоне, соответствующем образцовому резистору R8 (10 кОм). Переключатель SA1 в этом случае устанавливают в положение «$\times 10^4$ Ом», а к зажимам XT1 и XT2 подключают резистор сопротивлением 10 кОм. После этого мост балансируют, добиваясь пропадания звука в телефонах, и на шкале реохорда напротив стрелки делают исходную риску с отметкой 1. Она будет соответствовать сопротивлению 10^4 Ом, т. е. 10 кОм. Далее к прибору поочередно подключают резисторы сопротивлением 9, 8, 7 кОм и т. д. и делают на шкале отметки, соответствующие долям единицы. В дальнейшем отметка 0,9 на шкале реохорда при измерении сопротивлений этого поддиапазона будет соответствовать сопротивлнию 9 кОм ($0{,}9 \cdot 10^4$ Ом $=9000$ Ом $=9$ кОм), отметка 0,8 — сопротивлению 8 кОм ($0{,}8 \cdot 10^4$ Ом $=8000$ Ом $=8$ кОм) и т. д. Далее к прибору подключают резисторы сопротивлением 15, 20, 25 кОм и т. д. и на шкале реохорда делают соответствующие отметки (1,5; 2; 2,5 и т. д.). В результате получится шкала, образец которой показан на рис. 59.

Отградуировать шкалу можно также с помощью набора резисторов с допускаемым отклонением от номиналов не более ±5%. Соединяя резисторы параллельно или последовательно, можно получать практически любые значения «образцовых» резисторов.

Отградуированная таким способом шкала пригодна для других видов и пределов измерений только в том случае, если соответствующие им образцовые резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности будут иметь параметры, указанные на принципиальной схеме прибора.

Пользуясь прибором, надо помнить, что при измерении емкости оксидных конденсаторов (вывод их положительной обкладки подключают к зажиму XT3) баланс моста ощущается не так четко, как при измерении сопротивлений, поэтому и точность измерений меньше. Объясняется такое явление утечкой тока, свойственной оксидным конденсаторам.

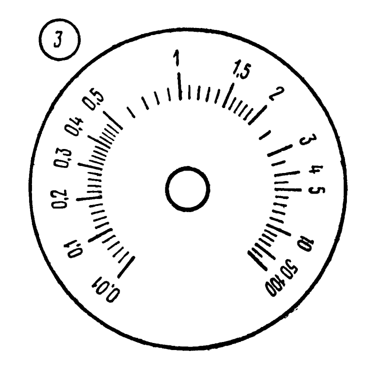


Рис. 59. Шкала измерителя RCL

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

В измерительной лаборатории радиолюбителя обязательно должен быть источник низкочастотных электрических колебаний, т. е. генератор сигналов звуковой частоты (генератор ЗЧ). С помощью такого прибора можно не только наладить низкочастотный тракт радиоприемника или усилителя ЗЧ, но и снять их амплитудно-частотную характеристику (АЧХ), измерить номинальное входное напряжение и коэффициент усиления. Генератор сигналов ЗЧ можно также использовать для питания измерительных мостов переменного тока и для модуляции радиочастотных колебаний измерительных генераторов.

Описываемый здесь прибор представляет собой RC-генератор, вырабатывающий синусоидальные электрические колебания частотой от 25 Гц до 20 кГц. Для упрощения конструкции и облегчения работы с генератором весь диапазон частот разбит на три поддиапазона, в каждом из которых генератор вырабатывает сигналы шести фиксированных частот. В первом поддиапазоне эти частоты равны 25, 50, 75, 100, 150 и 200 Гц, а во втором и третьем — соответственно в 10 и 100 раз выше. Всего, таким образом, генератор вырабатывает сигналы 18 фиксированных частот.

Амплитуда сигнала на выходе генератора плавно регулируется от 0 до 1,5 В. С помощью ступенчатого делителя — аттенюатора — амплитуду выходного напряжения можно уменьшить в 10 и 100 раз. Неравномерность АЧХ генератора во всем диапазоне частот не более ±2 дБ, коэффициент гармоник не превышает 5%.

Питается генератор стабилизированным напряжением 9 В от блока питания лаборатории.

Принципиальная схема генератора сигналов ЗЧ изображена на рис. 60. Он представляет собой двухкаскадный усилитель ЗЧ, охваченный цепями положительной и отрицательной обратных связей. В первом каскаде работают транзисторы VT1 и VT2, включенные по схеме составного транзистора, во втором —

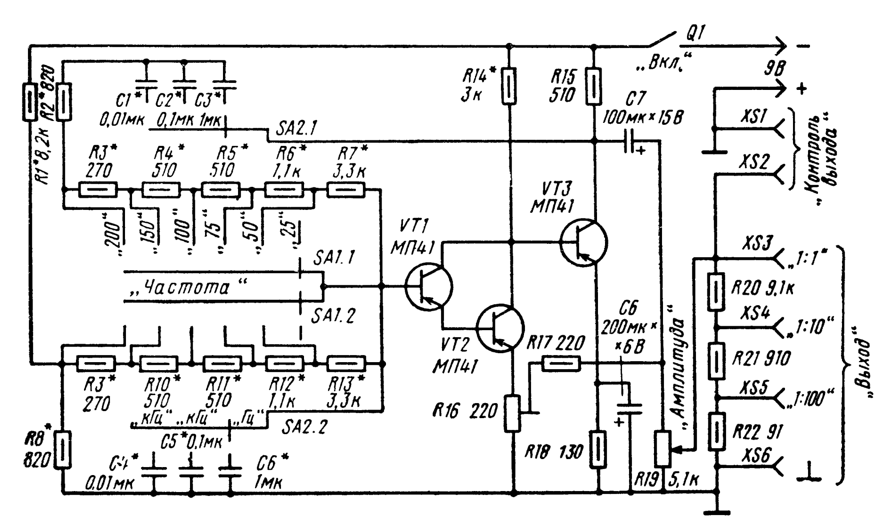


Рис. 60. Принципиальная схема генератора сигналов ЗЧ

транзистор VT3, включенный по схеме с общим эмиттером. Для улучшения работы генератора на низших частотах рабочего диапазона применена непосредственная связь между каскадами.

Цепь положительной обратной связи, благодаря которой усилитель превращается в генератор электрических колебаний, состоит из двух ячеек: последовательной и параллельной. В зависимости от положения переключателей SA1 и SA2 в последовательную ячейку входят конденсаторы C1, C2 или C3 и резисторы R2 — R7, в параллельную — конденсаторы C4, C5 или C6 и резисторы R8 — R13. Обе RC-ячейки образуют плечи делителя переменного напряжения, снимаемого с нагрузочного резистора R15 транзистора VT3 выходного каскада. Напряжение с RC-ячеек подается в цепь базы составного транзистора VT1VT2. Этот делитель напряжения обладает частотно-избирательными свойствами, поэтому усилитель самовозбуждается на определенной частоте, которая зависит от емкости конденсаторов и сопротивлений резисторов, включенных в цепь положительной обратной связи.

В транзисторных генераторах сигналов ЗЧ частоту колебаний обычно изменяют с помощью сдвоенного блока переменных резисторов группы Б, включенных в плечи делителя переменного напряжения. Однако сдвоенные переменные резисторы этой группы дефицитны, поэтому радиолюбителям приходится изготавливать их самим, объединяя в блоки одинарные резисторы. Задача эта не так проста, как может показаться на первый взгляд, так как сопротивление переменных резисторов может существенно отличаться от номинального значения и закон изменения сопротивления у них может быть существенно неодинаковым. Применение же блока переменных резисторов, в котором сопротивления секций изменяются неодинаково, приводит к неустойчивой генерации и даже срыву ее в отдельных участках диапазона частот.

В описываемом генераторе вместо сдвоенного переменного резистора применены наборы постоянных резисторов R2 — R7 и R8 — R13, включаемые полностью или частично в цепь положительной обратной связи переключателем SA1. Резисторы R2 и R8, R3 и R9 и т. д. подобраны попарно при налаживании. С одного поддиапазона на другой генератор переводят переключателем SA2, включающим в цепь положительной обратной связи конденсаторы C1 — C3 и C4 — C6, также подобранные попарно (C1 и C4, C2 и C5, C3 и C6) при налаживании. На принципиальной схеме генератора переключатели SA1 и SA2 показаны в положениях соответствующих частоте колебаний 25 Гц.

Цепь отрицательной обратной связи служит для уменьшения искажений формы выходного сигнала генератора. Напряжение этой обратной связи снимается с нагрузочного резистора R15 оконечного каскада и через конденсатор C7, резистор R17 и подстроечный резистор R16 подается в цепь эмиттера транзистора VT2 первого каскада.

Температурная стабилизация режима работы составного транзистора VT1VT2 осуществляется резисторами R1, R8 и R16, причем резистор R8 входит и в частотозадающую цепь генератора. Напряжение смещения на базу транзистора VT3 снимается с коллектора составного транзистора. Для улучшения условий самовозбуждения на низших частотах резистор R18 в эмиттерной цепи транзистора VT3 зашунтирован конденсатором C8 большой емкости.

С нагрузочного резистора R15 оконечного каскада напряжение генератора подается через конденсатор C7 на переменный резистор R19, а с его движка — на гнезда XS2, XS3 и делитель (аттенюатор) выходного напряжения, составлен-

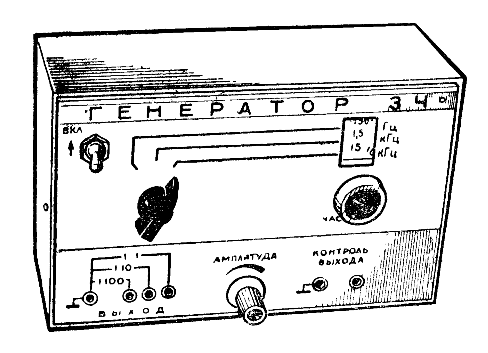


Рис. 61. Внешний вид генератора

ный из резисторов R20 — R22. Сопротивления резисторов этого делителя выбраны с таким расчетом, чтобы напряжения на гнездах XS4 и XS5 стали равными соответственно 1/10 и 1/100 части от всего напряжения, поданного на делитель.

Следует иметь в виду, что выходное напряжение делится в указанных соотношениях только в том случае, если сопротивление нагрузки (например, входное сопротивление усилителя звуковой частоты) значительно больше выходного сопротивления генератора.

Для контроля выходного напряжения предусмотрены гнезда XS1 и XS2, к которым можно подключить вольтметр переменного тока.

Конструкция и детали. Внешний вид генератора сигналов ЗЧ показан на рис. 61, его конструкция и схема соединений деталей — на рис. 62, а разметка передней стенки корпуса и монтажной платы — на рис. 63, а и б соответственно.

Конструкция и размеры корпуса, изготовленного из листового алюминиевого сплава АМц-П, точно такие же, как у авометра и измерителя RCL. На передней стенке закреплены переключатели SA1 и SA2, выключатель питания Q1, переменный резистор R19, монтажная плата и колодки с гнездами XS1, XS2 и XS3 — XS6. Для крепления переключателя SA1 и монтажной платы использованы П-образные кронштейны (рис. 64, а и б соответственно), изготовленные из листового алюминиевого сплава Амц-П толщиной 2 мм. На валик переключателя SA1 плотно насажена втулка с диском диаметром 80 мм (таким же, как в измерителе RCL), к которому приклеена бумажная шкала с надписями, сделанными в соответствии с рис. 65.

Все детали генератора, кроме резисторов R19 — R22, смонтированы на плате (см. рис. 63, б), изготовленной из гетинакса (можно применить текстолит, стеклотекстолит) толщиной 2 мм. Опорными монтажными стойками служат отрезки медной луженой проволоки, запрессованные в отверстия в плате. Два отверстия диаметром 3,5 мм предназначены для винтов крепления платы к кронштейнам, три отверстия диаметром 8,5 мм — для корпусов транзисторов, отверстие диаметром 10,5 мм — для втулки переменного резистора R16. Все соединения на монтажной плате выполнены медным луженым проводом диаметром 0,5 мм.

Резисторы R20 — R22 смонтированы непосредственно на контактах гнезд XS3 — XS6. Детали, установленные на передней стенке, соединены с монтажной платой гибким монтажным проводом МГШВ 0,14 мм^2. Для соединения с блоком питания прибор снабжен двухпроводным шнуром со штепселями на конце.

В генераторе использованы следующие детали: переменные резисторы СП-I (R16 и R19), постоянные резисторы МЛТ; конденсаторы МБГО (С3, С6), К40У-9 (С1, С2, С4, С5), К50-6 (С7 и С8); транзисторы МП41 (можно заменить на МП40, МП42) со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21Э}$ = 60... ...80. Переключатель SA1 — галетный на 11 положений (используются только шесть) и два направления (заводское обозначение 11П2Н), SA2 — также галет-

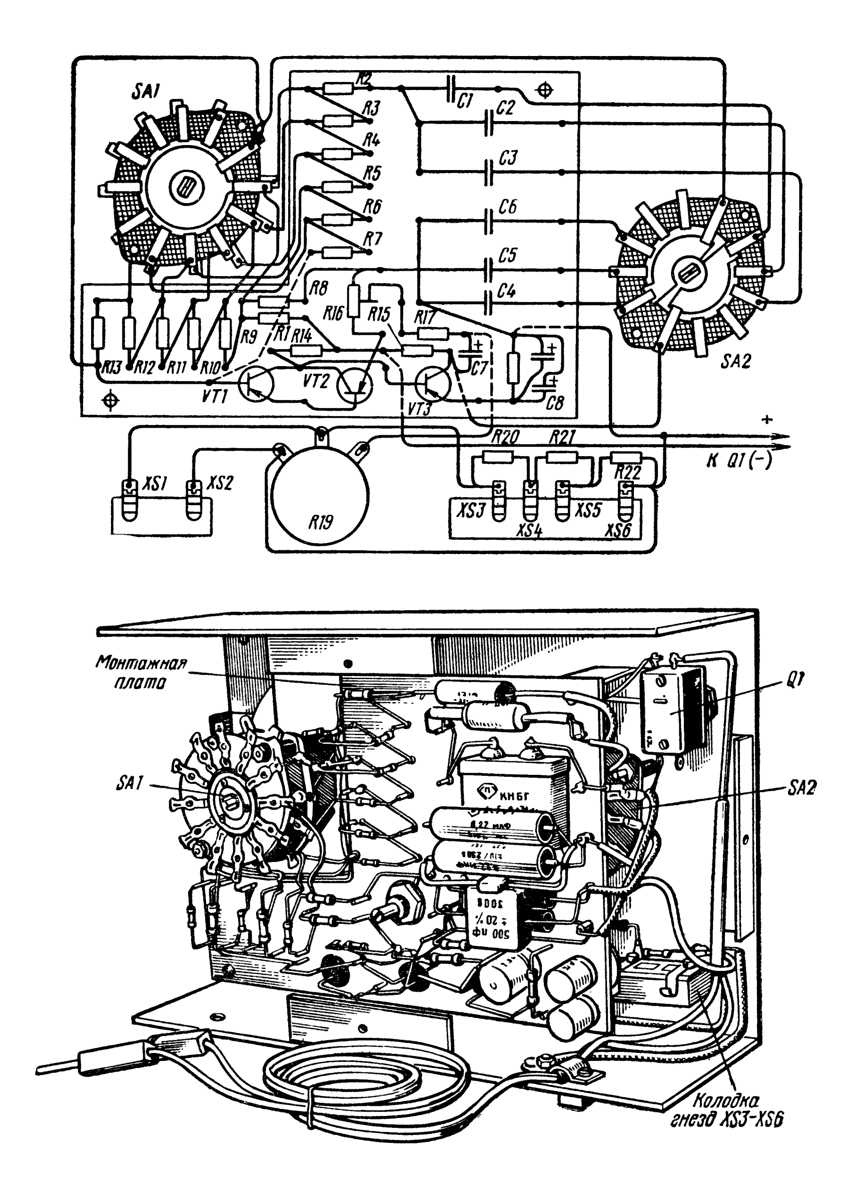


Рис. 62. Конструкция и схема соединений деталей генератора

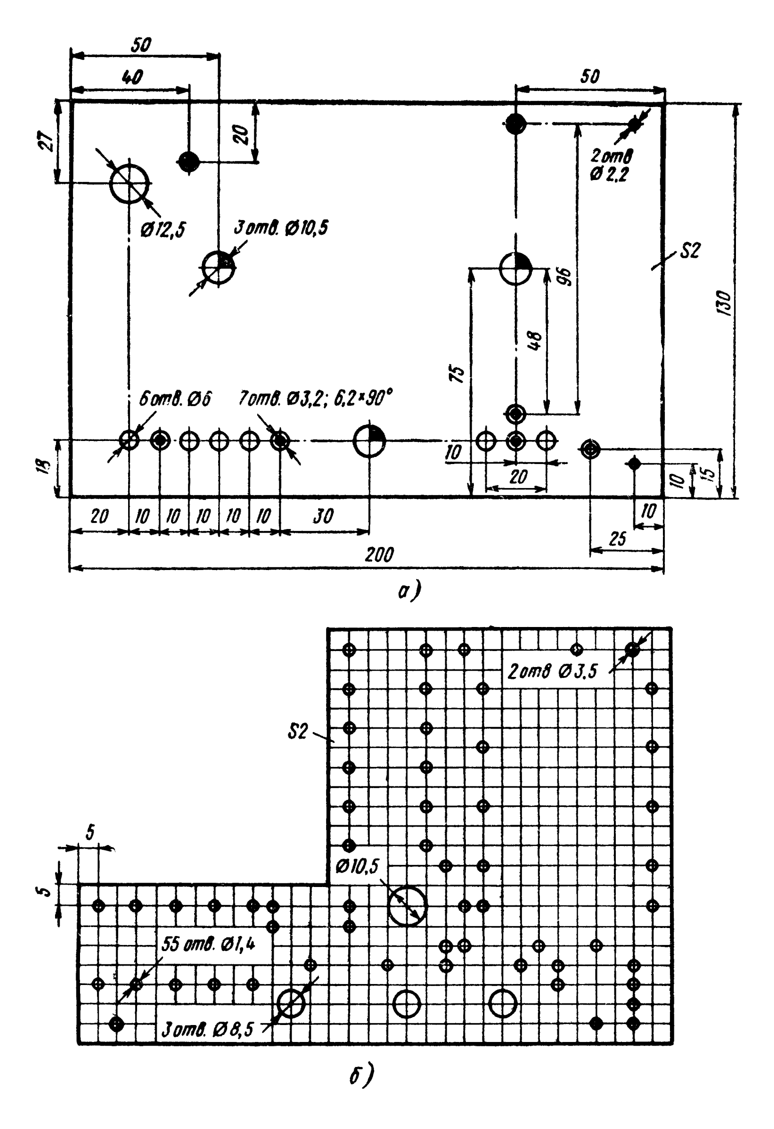


Рис. 63. Разметка передней стенки корпуса (а) и монтажной платы (б) генератора

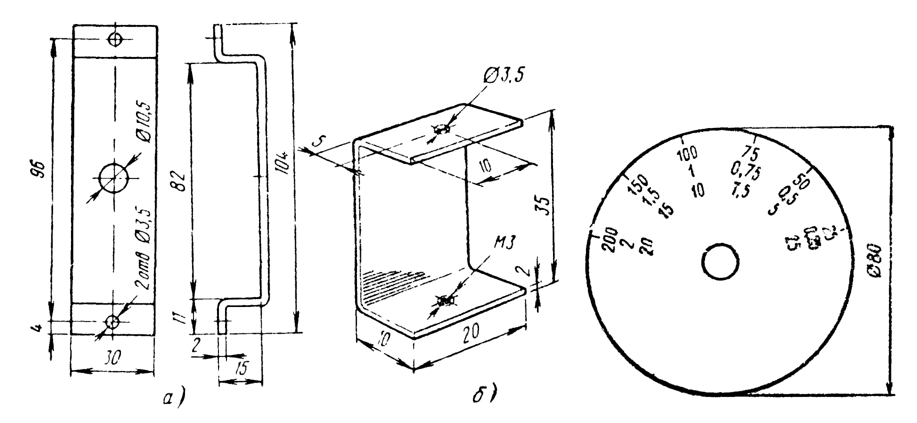


Рис. 64. Кронштейны крепления переключателя SA1 (а) и монтажной платы (б)

Рис. 65. Шкала генератора

ный, но на пять положений и два направления (5П2Н), выключатель Q1 — тумблер ТВ2-1.

Колодки с гнездами XS1, XS2 и XS3 — XS6 (конструкция их такая же, как в авометре и других приборах лаборатории), а также кронштейны переключателя SA1 и монтажной платы закреплены на передней стенке корпуса винтами М3 с потайными головками.

Надписи, поясняющие назначение органов управления и гнезд, выполнены тушью на полосках плотной бумаги белого и серого цветов и защищены от повреждений накладкой из прозрачного органического стекла толщиной 2 мм. Для ее крепления использованы гайки переключателя SA2, выключателя питания Q1, переменного резистора R19 и два винта М2×4, ввинченные с внутренней стороны корпуса в резьбовые отверстия в накладке.

Налаживание. Генератор сигналов ЗЧ является относительно сложным прибором, поэтому его целесообразно сначала смонтировать на макетной панели, полностью наладить и только потом перенести все детали на монтажную плату.

Для облегчения налаживания генератора резисторы R2 — R13 и конденсаторы C1 — C6 частотозадающей цепи желательно подобрать попарно с помощью измерителя RCL. Указанные на принципиальной схеме номиналы этих деталей соответствуют стандартному ряду. Однако для получения сигналов заданных фиксированных частот сопротивления резисторов частотозадающей цепи должны быть равны: R2 и R8 — по 796 Ом, R3 и R9 — по 266 Ом, R4, R5, R10, R11 — по 530 Ом, R6 и R12 — по 1,06 кОм, R7 и R13 — по 3,19 кОм. При подборе резисторов надо стремиться к тому, чтобы сопротивления парных деталей не отличались более чем на 1 %.

Число фиксированных частот в каждом поддиапазоне можно увеличить, а значения частот выбрать другие. В этом случае общее сопротивление резисторов, включаемых в каждую ячейку частотозадающей цепи R2 — R7, R8 — R13, можно рассчитать по формуле $R=1/2\pi fC$. Так, чтобы настроить генератор на частоту колебаний 30 Гц, в каждую RC-ячейку необходимо включить резисторы общим сопротивлением $R=1/2\cdot3{,}14\cdot30\cdot1\cdot10^{-6}=5{,}3$ кОм (при C3=C6=1 мкФ).

Для налаживания прибора потребуются осциллограф и образцовый генератор сигналов ЗЧ, обеспечивающий на выходе напряжение синусоидальной фор-

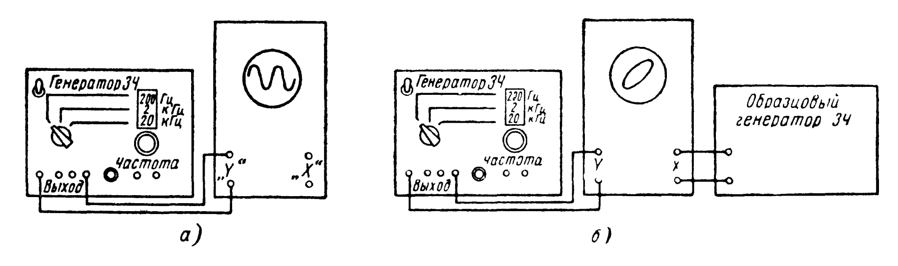


Рис. 66. Схемы соединения приборов при налаживании генератора (а) и его калибровке (б)

мы в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц. В крайнем случае источником напряжения образцовой частоты может быть электросеть (50 Гц).

Приступая к налаживанию генератора, переключатель SA1 устанавливают в положение «200» (по схеме — крайнее левое), переключатель SA2 — в крайнее правое положение, движок подстроечного резистора R16 — в нижнее (также по схеме), а переменного резистора R19 — в среднее положение. Выход генератора (гнезда XS3 и XS6) соединяют с входом «Y» осциллографа (рис. 66, а), а резисторы R1 и R14 временно заменяют переменными резисторами сопротивлением 15...22 и 5,1...10 кОм соответственно. После этого включают питание и с помощью переменных резисторов R1 и R14 добиваются получения на экране осциллографа максимальной амплитуды выходного сигнала. Его форма при этом может значительно отличаться от синусоидальной. Для получения синусоидальной формы выходного сигнала подстроечным резистором R16 вводят отрицательную обратную связь. Если будет наблюдаться одностороннее ограничение синусоиды, то следует тщательнее подбирать сопротивления резисторов R1 и R14.

Далее генератор развертки осциллографа выключают, а на его вход «X» подают синусоидальное напряжение частотой 200 Гц от образцового генератора сигналов ЗЧ (рис. 66, б). Если элементы частотозадающей цепи (резисторы R2 и R8 и конденсаторы C3, C6) выбраны правильно, то на экране осциллографа должно появиться изображение эллипса или прямой линии (рис. 67, е). Если же вместо этого на экране осциллографа будет виден светящийся прямоугольник, то, медленно изменяя частоту образцового генератора в ту или другую сторону от заданного значения (200 Гц), добиваются получения неподвижного изображения одной из названных фигур Лиссажу. Так оп-

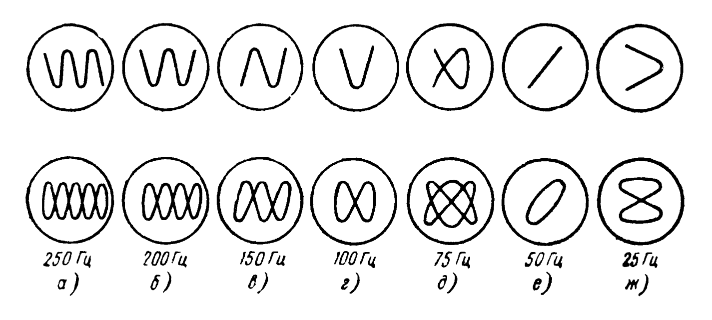


Рис. 67. Фигуры Лиссажу при различных отношениях частот

ределяют фактическую частоту колебаний налаживаемого генератора. После этого, подбирая резисторы R2 и R8, генератор настраивают на частоту 200 Гц. Для повышения частоты генерации сопротивления этих резисторов следует уменьшить, а для уменьшения частоты, наоборот, увеличить.

Подобрав резисторы R2 и R8, отключают образцовый прибор, включают генератор развертки осциллографа и проверяют форму выходного напряжения. Изменением сопротивлений временно включенных переменных резисторов R1 и R14 добиваются максимального значения и неискаженной формы сигнала, после чего их заменяют постоянными резисторами соответствующих сопротивлений.

Если источником переменного напряжения образцовой частоты служит электросеть (например, переменное напряжение 4...6 В, снятое с вторичной обмотки понижающего трансформатора), то его подают на вход «X» осциллографа через конденсатор емкостью 4700...10 000 пФ. В этом случае при правильной настройке генератора на экране осциллографа должна наблюдаться одна из фигур Лиссажу, показанных на рис. 67, б.

Настроив генератор на частоту 200 Гц, переключатель SA1 переводят в следующее положение («150 Гц») и, соответственно изменяя частоту образцового генератора, подбором резисторов R3 и R9 добиваются получения на экране осциллографа изображения эллипса или прямой линии (рис. 67, е). Аналогично настраивают генератор и на остальные частоты первого поддиапазона, подбирая резисторы R4 и R10 («100 Гц»), R5 и R11 («75 Гц») и т. д. Вид фигур Лиссажу для этих частот, полученных при использовании электросети в качестве источника образцовой частоты, показан на рис. 67, в — ж.

На втором и третьем поддиапазонах подбирают только конденсаторы С2, С5 (второй поддиапазон) и С1, С4 (третий поддиапазон) на одной из фиксированных частот. При калибровке частотой электросети подбирают конденсаторы С2 и С5 на частоте 250 Гц (переключатель SA1 — в крайнем правом — по схеме — положении). Вид фигур Лиссажу для этого случая показан на рис. 67, а.

На третьем поддиапазоне калибровка частотой 50 Гц по фигурам Лиссажу невозможна из-за слишком большого отношения частот. Поэтому, если нет образцового генератора сигналов ЗЧ, приходится ограничиваться тщательным подбором емкости конденсаторов С1 и С4 с помощью измерителя RCL.

Подбирая резисторы и конденсаторы частотозадающей цепи, следует контролировать форму выходного напряжения налаживаемого прибора и при необходимости более тщательно корректировать ее подбором соответствующих элементов.

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ РАДИОЧАСТОТЫ

Проверка и налаживание радиочастотных (РЧ) трактов приемников, волномеров и других радиотехнических устройств значительно облегчаются, если в измерительной лаборатории есть генератор сигналов РЧ.

Сравнительно простой прибор, описание которого здесь приводится, генерирует электрические колебания синусоидальной формы в трех поддиапазонах частот: 0,15...0,5; 0,5...2 и 4...12,5 МГц. Максимальное напряжение выходного сигнала первого поддиапазона — 1,1, второго — 1,05, третьего — 0,27 В. Для модуляции РЧ колебаний используется описанный выше генератор сигналов ЗЧ.

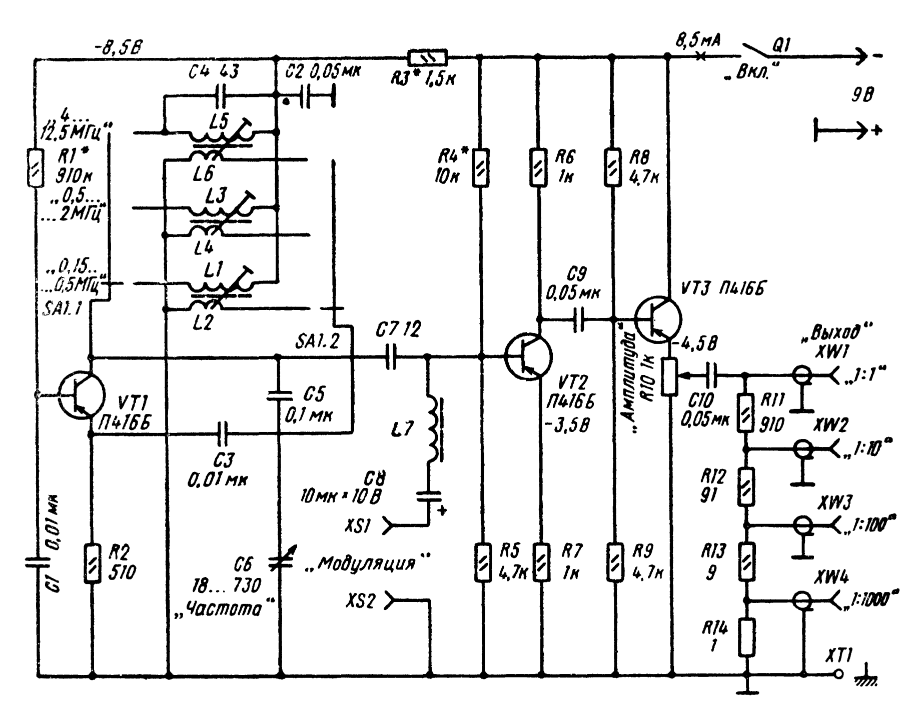


Рис. 68. Принципиальная схема генератора сигналов РЧ

Питается генератор стабилизированным напряжением 9 В, получаемым от блока питания лаборатории. Потребляемый ток не превышает 8,5...8,8 мА.

Принципиальная схема генератора сигналов РЧ изображена на рис. 68. Прибор состоит из задающего генератора (транзистор VT1), двухкаскадного усилителя его колебаний (транзисторы VT2 и VT3) и делителя выходного напряжения — аттенюатора (резисторы R11 — R14).

Задающий генератор собран по схеме с индуктивной обратной связью между эмиттерной и коллекторной цепями транзистора. Его режим работы по постоянному току определяется резистором R1, включенным в базовую цепь. Катушки индуктивности L1 и L2, L3 и L4, а также L5 и L6 индуктивно связаны между собой. С помощью переключателя SA1 в коллекторную цепь транзистора VT1 можно включить любую из катушек L1—L3, образующую с последовательно соединенными конденсаторами C5 и C6 колебательный контур задающего генератора, а в эмиттерную цепь (через конденсатор C3) — соответствующую ей катушку обратной связи L2, L4 или L6. В результате генератор самовозбуждается и генерирует электрические колебания, частота которых определяется параметрами контура в коллекторной цепи транзистора.

На нужную частоту задающий генератор настраивают конденсатором переменной емкости C6. Конденсатор C5 — разделительный; он исключает замыкание коллекторной цепи транзистора на общий провод прибора в случае касания роторных и статорных пластин конденсатора C6. Резистор R3 и конденсатор C2 образуют развязывающий фильтр задающего генератора по цепи питания.

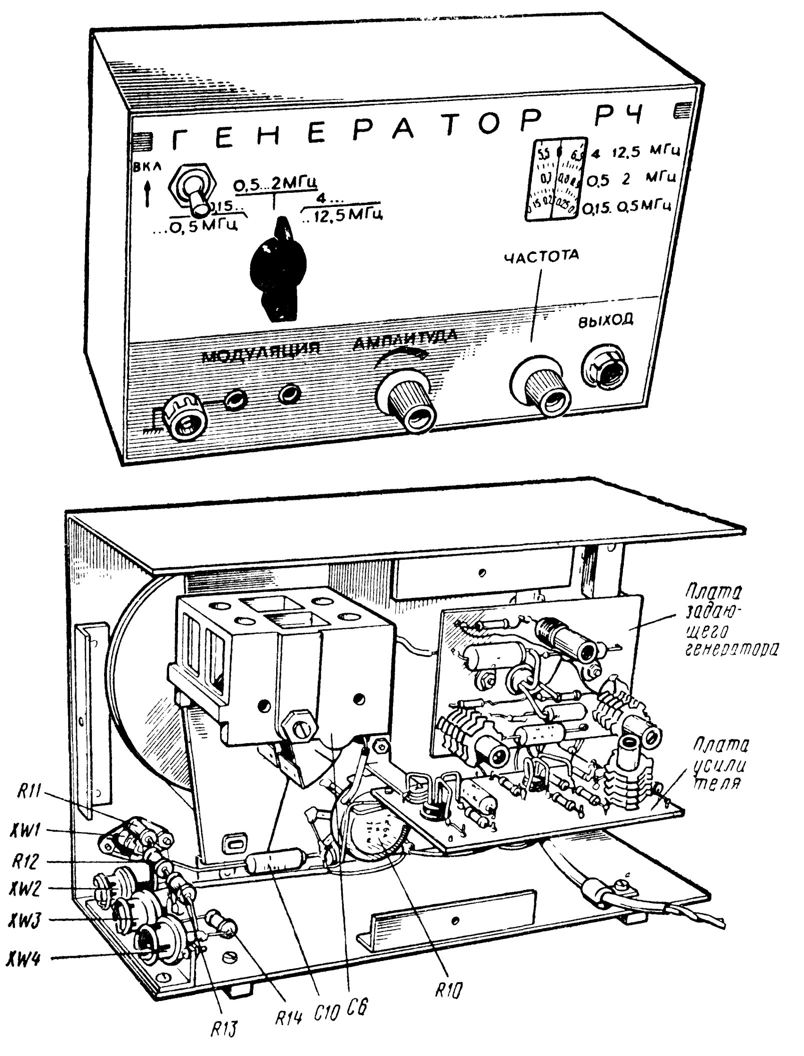


Рис. 69. Внешний вид генератора сигналов РЧ и размещение деталей в его корпусе

Радиочастотный сигнал с коллектора транзистора VT1 через конденсатор C7 поступает на базу транзистора VT2 первого каскада усилителя. Сюда же с гнезд XS1 и XS2 («Модуляция») через оксидный конденсатор C8 и дроссель L7 может поступать и модулирующий сигнал от внешнего генератора сигналов ЗЧ. Дроссель L7 препятствует короткому замыканию тока РЧ на плюсовой провод питания при подключении генератора ЗЧ.

Отрицательное напряжение смещения на базу транзистора VT2 подается с делителя R4R5. Резистор R7, включенный в эмиттерную цепь этого транзистора, стабилизирует работу каскада.

Сигнал, усиленный транзистором VT2, выделяется на нагрузочном резисторе R6 и через конденсатор C9 подается на вход эмиттерного повторителя, собранного на транзисторе VT3. Выходное напряжение РЧ сигнала регулируют переменным резистором R10 («Амплитуда»). Через конденсатор C10 оно поступает на гнездо XW1, расположенное на передней панели генератора. Конденсатор C10 предотвращает замыкание цепи эмиттера транзистора VT3 по постоянному току через делитель выходного напряжения R11 — R14, который ослабляет выходное напряжение в 10, 100 и 1000 раз. С выхода делителя напряжение подается на гнезда XW2 — XW4, расположенные на боковой стенке корпуса.

Низкочастотные границы поддиапазонов устанавливают подстроечниками катушек задающего генератора. Высокочастотные границы первого и второго поддиапазонов определяются начальной емкостью конденсатора C6 и емкостью монтажа, а третьего поддиапазона — еще и емкостью конденсатора C4, подключенного параллельно катушке L5.

Конструкция и детали. Внешний вид генератора сигналов РЧ и вид на его монтаж показаны на рис. 69. Конструкция корпуса, его размеры (за исключением глубины), двухгнездная колодка и уголки для крепления крышки — точно такие же, как в описанных ранее авометре, измерителе RCL и генераторе сигналов ЗЧ. Глубина корпуса определяется размерами конденсатора переменной емкости (КПЕ) и в данном случае равна 75 мм (на 10 мм больше глубины корпуса названных приборов).

Разметка передней стенки корпуса показана на рис. 70. Отверстие диаметром 12,5 мм предназначено для крепления выключателя питания Q1, отверстия диаметром 10,5 мм — для крепления переключателя поддиапазонов SA1 и прохода осей переменного резистора R10 («Амплитуда») и конденсатора C6 («Частота»), отверстие диаметром 14 мм — для коаксиального гнезда XW1. Прямоугольное отверстие в правой верхней части стенки служит «окном» шкалы прибора. Отверстие диаметром 3,2 мм предназначено для зажима заземления, два

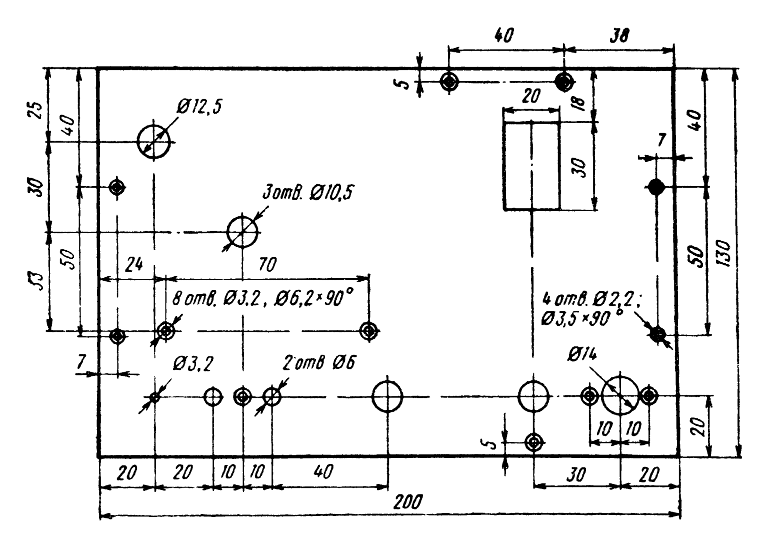


Рис. 70. Разметка передней стенки генератора

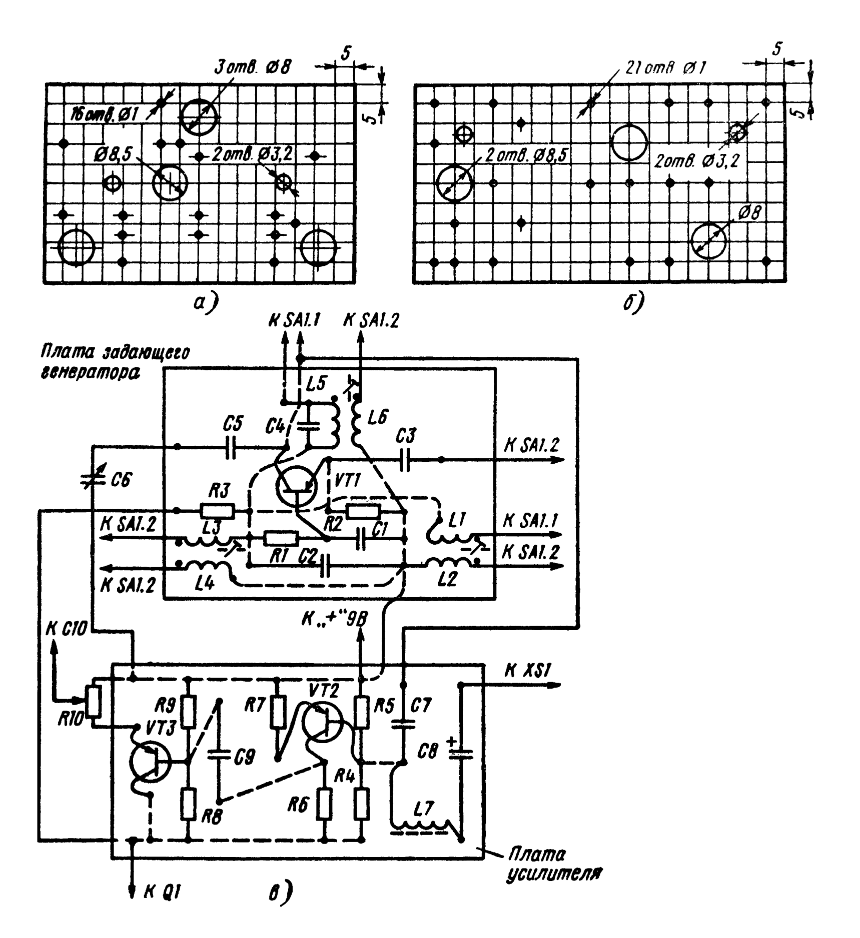


Рис. 71. Разметка монтажных плат задающего генератора (а), усилителя (б) и схемы соединений деталей на них (в)

отверстия диаметром 6 мм — для гнезд XS1 и XS2 («Модуляция»), остальные отверстия (с зенковкой) служат для крепления гнездовой колодки, выходного коаксиального гнезда, кронштейна КПЕ со шкалой и уголков крепления крышки корпуса.

Детали задающего генератора размещены на отдельной гетинаксовой плате, закрепленной на шпильках галетного переключателя поддиапазонов. Детали усилителя смонтированы на другой гетинаксовой плате, прикрепленной к передней стенке корпуса с помощью двух Г-образных кронштейнов, согнутых из полосы листового алюминиевого сплава шириной 10 и толщиной 2 мм. Разметка плат задающего генератора и усилителя, а также схемы соединений деталей на них показаны на рис. 71. Опорными стойками для монтажа деталей служат отрезки медного луженого провода диаметром 1,5 мм, запрессованные в отверстия в платах. Все детали расположены с одной стороны платы, а соединения между ними — с другой. Корпусы транзисторов утоплены в отверстия в платах.

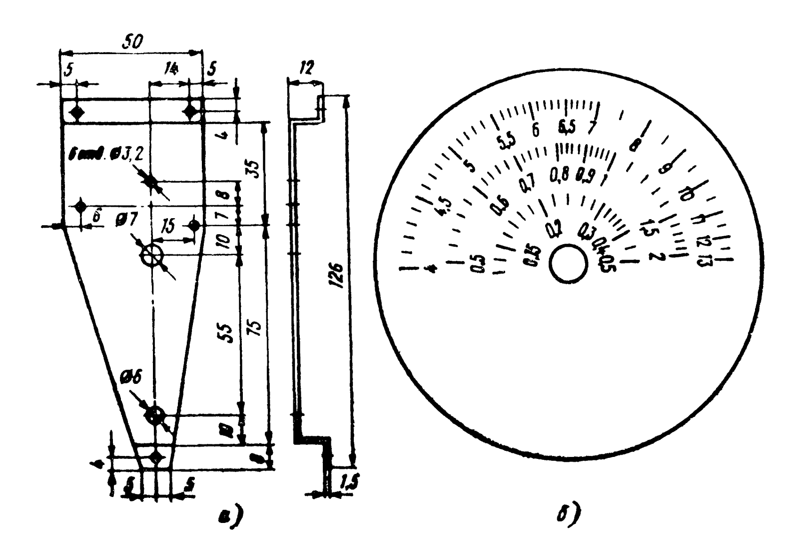


Рис. 72. Кронштейн для крепления КПЕ (а) и шкала генератора (б)

Резисторы R12 — R14 делителя и гнезда XW2 — XW4 смонтированы на дюралюминиевом уголке, который винтами с гайками прикреплен к нижней стенке корпуса. В крышке корпуса, точно напротив гнезд XW2 — XW4, просверлены отверстия диаметром 12 мм для коаксиального штепселя соединительного кабеля.

Конденсатор переменной емкости С6 закреплен на передней стенке корпуса с помощью кронштейна (рис. 72, а), изготовленного из листового алюминиевого сплава АМц-П. На валике ротора КПЕ жестко закреплен шкив верньерного устройства диаметром 80 мм, выполненный из органического стекла толщиной 5 мм. В качестве ведущего шкива использован валик переменного резистора СП-I диаметром 6 мм. Для передачи вращения ротору КПЕ применена капроновая леска диаметром 0,4 мм. Образец шкалы, приклеенной к шкиву КПЕ, показан на рис. 72, б.

Как и в ранее описанных приборах лаборатории, надписи, поясняющие назначение ручек управления и гнезд, выполнены на плотной бумаге, прикрытой прозрачным органическим стеклом толщиной 2 мм. Стрелкой-указателем шкалы служит отрезок ровной стальной проволоки, приклеенный к краям «окна» с внутренней стороны корпуса.

Для перестройки генератора по частоте использован сдвоенный блок КПЕ от транзисторного радиоприемника «ВЭФ-12». Его секции соединены параллельно. В результате получен КПЕ с минимальной емкостью 18 и максимальной — 730 пФ. Можно применить и любой другой блок КПЕ с воздушным диэлектриком, в том числе от лампового радиовещательного приемника, с максимальной емкостью секций 490...510 пФ.

Остальные детали генератора — следующих типов: переменный резистор R10 — СП-I, все постоянные резисторы, кроме R14,— МЛТ (резистор R13 составлен из трех соединенных параллельно резисторов сопротивлением 27 Ом), резистор R14 — проволочный. Переключатель поддиапазонов SA1 — галетный

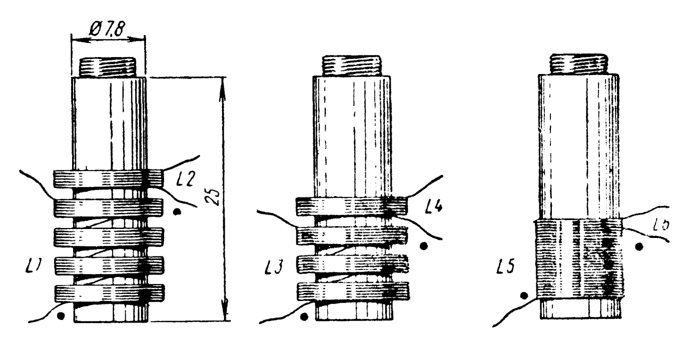


Рис. 73. Катушки генератора сигналов РЧ

ПГК или ПГГ на два направления и пять положений (используются только три положения).

Транзисторы П416Б можно заменить высокочастотными транзисторами других типов, например, серий П403, П422, ГТ313, ГТ309 со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21э}=60...80$.

Катушки задающего генератора (рис. 73) намотаны на унифицированных каркасах диаметром 8 мм с карбонильными подстроечниками СЦР-1 диаметром 6 мм (каркасы катушек фильтров ПЧ телевизоров старых марок). Катушка L1 содержит 440 витков провода ПЭВ-1 0,15 (можно использовать провод марки ПЭЛ), размещенных в четырех секциях по 110 витков в каждой; катушка L3 — 150 витков такого же провода, намотанного в трех секциях по 50 витков в каждой, катушка L5 — 12 витков провода ПЭВ-1 0,5, намотанного в один слой виток к витку. Катушки L2, L4 и L6 намотаны проводом ПЭВ-1, 0,15 и содержат соответственно 35, 9 и 1 виток.

Дроссель L7 выполнен на таком же каркасе, что и катушки задающего генератора (с подстроечником СЦР-1), и содержит 600 витков (пять секций по 120 витков) провода ПЭВ-1 0,1.

Для соединения генератора с настраиваемым прибором используется отрезок коаксиального кабеля марки РК75-4-15 длиной около 700 мм с коаксиальным штепселем на одном конце и зажимами «крокодил» на другом.

Налаживание и градуировка. Налаживание генератора начинают с проверки режимов работы транзисторов по постоянному току. Включив питание, измеряют напряжение на эмиттере транзистора VT3 и, если оно отличается от указанного на схеме (—4,5 В) более чем на ±0,8...0,9 В, подбирают резистор R8 до получения требуемого напряжения. Вольтметр переключают на эмиттер транзистора VT2, нужного напряжения (—3,5 В) добиваются подбором резистора R4. Далее вольтметром измеряют напряжение на конденсаторе С2. Если оно окажется больше 8,5 В, то несколько увеличивают сопротивление резистора R3.

Затем проверяют работу задающего генератора прибора. Делать это лучше всего с помощью радиовещательного приемника, установленного рядом с налаживаемым генератором. К гнезду XW1 генератора подключают отрезок провода длиной 200...300 мм, движок переменного резистора R10 («Амплитуда») устанавливают в положение, соответствующее максимальному выходному сигналу, переключатель поддиапазонов SA1 — в положение, соответствующее диапазону

частот 0,15...0,5 МГц, а переключатель диапазонов приемника — в положение «ДВ» (длинные волны). Если задающий генератор работает, то при повороте ротора КПЕ С6 («Частота») из динамической головки радиоприемника должны слышаться звуки, похожие на свисты. Если же этих признаков работы генератора нет, следует поменять местами выводы катушки обратной связи этого поддиапазона.

Таким же способом проверяют работу задающего генератора на других поддиапазонах. Напряжение сигнала на выходе генератора можно измерить высокочастотным вольтметром переменного тока.

Наиболее простой способ градуировки шкалы генератора — по шкале трехдиапазонного (ДВ, СВ и КВ) радиовещательного приемника или по генератору стандартных сигналов (ГСС).

По шкале приемника прибор градуируют следующим образом. Соединив между собой гнездо заземления генератора и соответствующее гнездо приемника, настраивают последний на частоту 150 кГц (0,15 МГц), а регулятор громкости устанавливают в среднее положение. Затем с выходного гнезда XW1 генератора РЧ через конденсатор емкостью 20...30 пФ подают на вход радиоприемника (гнездо «Антенна») радиочастотный сигнал, модулированный колебаниями ЗЧ. Ручкой «Частота» налаживаемого генератора добиваются максимальной громкости звука и делают на его шкале отметку, соответствующую частоте 0,15 МГц. Далее указатель настройки приемника переводят на отметку 200 кГц, ручкой «Частота» генератора сигналов РЧ снова добиваются максимальной громкости звука приемника и на шкале генератора делают отметку, соответствующую частоте 0,2 МГц и т. д. Точно так же градуируют шкалу генератора в поддиапазоне 0,5...2 МГц, а затем в поддиапазоне 4...12,5 МГц. В результате должна получиться шкала, похожая на ту, что изображена на рис. 72, б.

Следует иметь в виду, что в поддиапазоне 4...12,5 МГц помимо основного будут слышны сигналы гармоник (колебаний, частоты которых в целое число раз больше частоты основного колебания), но их громкость меньше громкости основного сигнала. Чтобы исключить возможные ошибки, градуировать генератор в этом поддиапазоне частот рекомендуется при возможно меньшем уровне сигнала генератора РЧ.

Градуировку с помощью ГСС производят по схеме, показанной на рис. 74. К выходным гнездам ГСС и градуируемого генератора сигналов РЧ, колебания которых не модулированы, подключают аноды точечных диодов VD1 и VD2, например Д9Б. Катоды диодов соединяют вместе и подсоединяют к ним высокоомные телефоны BF, шунтированные конденсатором емкостью 1000...2000 пФ. Зажимы заземления обоих генераторов соединяют друг с другом и сюда же подключают второй штепсель телефонов. Установив нужную частоту по шкале ГСС, медленно перестраивают градуируемый генератор ручкой «Частота» до появления в телефонах звука высокого тона (свистка). Продолжая вращать ручку «Частота», добивают-

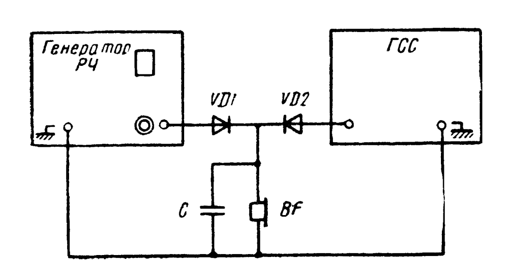


Рис. 74. Схема соединения приборов при градуировке генератора с помощью ГСС

ся нулевых биений (пропадания звука в телефонах), что свидетельствует о совпадении частот градуируемого генератора и ГСС, и делают на шкале градуируемого генератора соответствующую отметку.

Градуировка по сигналам ГСС более точна, чем по шкале радиоприемника.

ЧАСТОТОМЕР

Этот прибор измерительной лаборатории, выполненный в виде приставки к авометру, позволяет измерять частоту синусоидального или пульсирующего напряжения примерно от 10 Гц до 100 кГц. Весь диапазон измеряемых частот разбит на четыре поддиапазона: 10...100, 100...1000 Гц, 1...10 и 10... ...100 кГц. Минимальное напряжение измеряемого сигнала — около 0,2 мВ, максимальное — 10...15 В. Питается прибор стабилизированным напряжением 9 В, снимаемым с нерегулируемого выхода сетевого блока питания, входящего в состав лаборатории.

Принципиальная схема частотомера изображена на рис. 75. Прибор собран на трех маломощных p-n-p транзисторах серии П416. Один из них (VT1) выполняет функции усилителя-ограничителя входного сигнала. Два других транзистора (VT2 и VT3) образуют несимметричный триггер с эмиттерной связью — пороговое устройство, формирующее при входном сигнале определенной амплитуды и полярности импульсы прямоугольной формы, частота следования которых соответствует частоте входного переменного напряжения. Для повышения устойчивости работы прибора питающее его напряжение дополнительно стабилизировано параметрическим стабилизатором VD4R9.

Переменное напряжение, частоту которого надо измерить, подают на вход усилителя-ограничителя через гнезда XS1 и XS2, резистор R1 и конденсатор C1. Режим работы транзистора VT1 (зависит от сопротивления резистора R2) таков, что он почти полностью открыт: напряжение на его коллекторе относительно эмиттера всего около —0,4...0,5 В. При этом транзистор VT2, на базе которого отрицательное напряжение ниже, чем на эмиттере, также открыт, а транзистор VT3, наоборот, закрыт. Это исходный режим работы транзисторов по постоянному току.

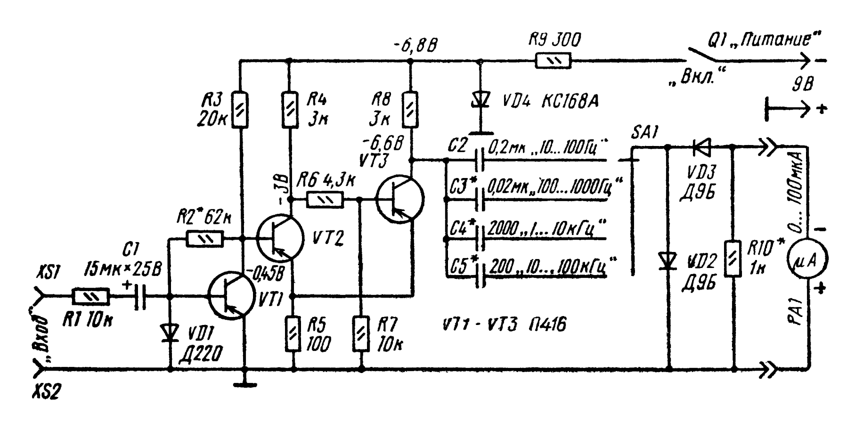


Рис. 75. Принципиальная схема частотомера-приставки

При отрицательной (относительно общего провода прибора) полуволне входного переменного напряжения транзистор VT1 открывается еще больше и входит в режим насыщения, отчего напряжение на его коллекторе, а значит, и на базе транзистора VT2 скачком понижается почти до нуля (практически до 0,08...0,1 В). В этот момент транзистор VT2, на базе которого напряжение становится меньше, чем на эмиттере, закрывается, а транзистор VT3 открывается. В таком состоянии транзисторы триггера находятся до тех пор, пока напряжение отрицательной полуволны входного сигнала удерживает транзистор VT1 в режиме насыщения. Как только это напряжение уменьшится до уровня, соответствующего исходному режиму транзистора VT1, напряжение на его коллекторе возрастет до 0,4...0,5 В, транзистор VT2 тут же откроется, а транзистор VT3 закроется. В результате на коллекторе транзистора VT3, являющемся выходом триггера, формируется импульс напряжения, амплитуда и длительность которого не зависят от формы сигнала, запускающего триггер.

При положительных полуволнах сигнала, на которые транзистор VT1 практически никак не реагирует, транзисторы триггера находятся в исходном состоянии.

Импульсы напряжения прямоугольной формы, формируемые на выходе триггера, поступают в измерительную цепь, состоящую из образцовых конденсаторов C2 — C5, диодов VD2, VD3, резистора R10 и микроамперметра PA1 авометра. В зависимости от выбранного предела измерений один из образцовых конденсаторов C2 — C5, включенный в эту цепь переключателем поддиапазонов SA1, через резистор R8, диод VD3 и микроамперметр PA1 заряжается импульсами триггера до напряжения источника питания и разряжается через открытый в это время транзистор VT3, диод VD2 и резистор R5. А так как частота следования импульсов равна частоте входного переменного напряжения, то и среднее значение тока, протекающего через микроамперметр, пропорционально частоте измеряемого сигнала. С конденсатором C2 в измерительной цепи прибором можно измерять частоту сигнала до 100 Гц, с конденсатором C3 — до 1 кГц, с конденсатором C4 — до 10 кГц, с конденсатором C5 — до 100 кГц.

Конденсатор C1 выполняет функцию элемента развязки по постоянному току между контролируемой цепью (например, коллекторной цепью транзистора каскада усиления напряжения ЗЧ), являющейся источником сигнала измеряемой частоты, и базовой цепью транзистора VT1 частотомера. Кремниевый диод VD1 ограничивает напряжение положительной полуволны входного сигнала на эмиттерном переходе транзистора VT1. Пока амплитуда этого напряжения не превышает 0,6...0,7 В, диод закрыт и не оказывает никакого влияния на работу усилителя-ограничителя. Когда же амплитуда входного сигнала становится больше этого значения, диод при положительных полуволнах открывается и ограничивает напряжение на базе транзистора уровнем 0,6...0,7 В. Резистор R1 предотвращает протекание через этот диод опасного для него тока при входном напряжении сигнала более 10...12 В.

Конструкция и детали. Внешний вид частотомера-приставки, подключенного к авометру, показан на рис. 76. Его корпус с крышкой, накладка из прозрачного органического стекла, защищающая надписи на лицевой панели прибора, а также входная двухгнездная и выходная штепсельная колодки выполнены так же, как в транзисторных вольтметрах постоянного и переменного токов. Выключатель питания Q1, входная и выходная колодки и шнур питания закреплены на стенках корпуса. Накладка удерживается на нем гайкой тумблера-вы-

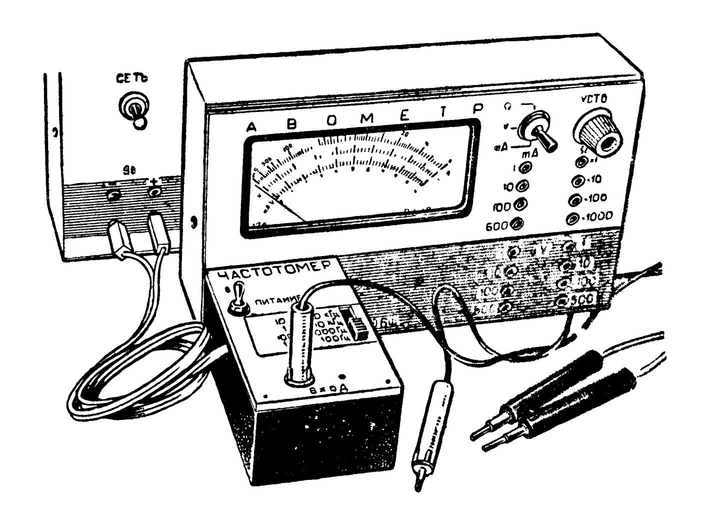


Рис. 76. Внешний вид частотомера с авометром

ключателя и тремя винтами М2×5, ввинченными с внутренней стороны справа и слева от гнездовой колодки (можно использовать винты ее крепления). Остальные детали приставки размещены на монтажной плате прибора.

Разметка монтажной платы и схема соединений деталей на ней показаны на рис. 77, а размещение ее в корпусе приставки дано на рис. 78. Опорными точками монтажа служат отрезки медной луженой проволоки диаметром 1,5 мм, запрессованные в отверстия в плате. Бо́льшая часть соединений между ними сделана со стороны, противоположной установке деталей (на рис. 77, б, обозначены штриховыми линиями), медным луженым проводом диаметром 0,8 мм. Для соединения монтажной платы с выходной штепсельной колодкой и выключателем питания использован гибкий монтажный провод МГШВ сечением 0,14 мм^2.

Все примененные в приборе постоянные резисторы — МЛТ-0,125 (можно использовать МЛТ-0,25, МЛТ-0,5), конденсатор С2 — МБМ (составлен из двух конденсаторов емкостью 0,1 мкФ), С3 и С4 — БМ-2, С5 — КТ-2 (или КД-2, КСО); оксидный конденсатор С1 — К52-1 (можно и любого другого типа емкостью 5...10 мкФ на номинальное напряжение не менее 10 В). Диод VD1 — любой из серий Д220, Д219, КД503, диоды VD2 и VD3 — любые из серий Д9, Д18, Д20. Стабилитрон КС168А (VD4) можно заменить на КС168Б, КС162А. Прибор работоспособен и при использовании стабилитрона КС156А и даже КС147А, однако режимы работы транзисторов в этом случае будут несколько иными по сравнению с указанными на принципиальной схеме.

Кроме указанных на схеме, в приборе можно применить транзисторы серий П417, П422, ГТ308, ГТ313 со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21э}$ не менее 60...70. Выключатель питания Q1 — малогабаритный П1Т-1-1.

Переключатель поддиапазонов SA1, установленный на нижней стороне монтажной платы,— движковый на два положения от транзисторного радиоприемника «Сокол». Для работы в частотомере он переделан в четырехпозиционный

Рис. 77. Разметка монтажной платы частотомера и схема соединений деталей на ней

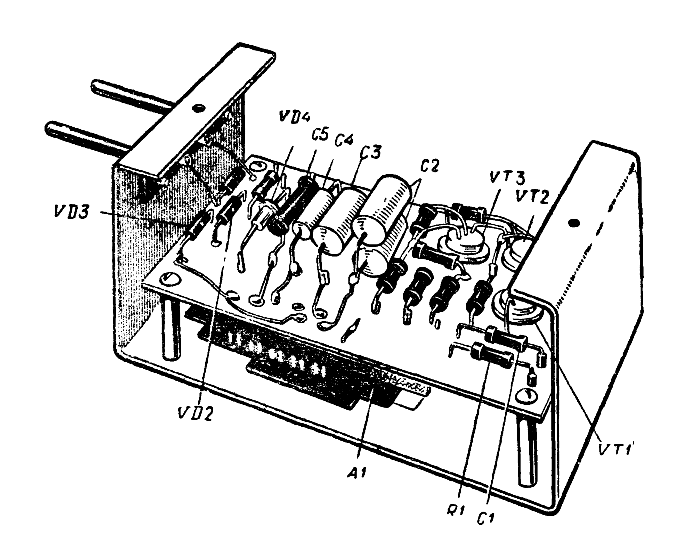


Рис. 78. Размещение монтажной платы в корпусе приставки

(на четыре положения). Для этого в средней части его корпуса оставлены пять контактов в одном ряду, четыре в другом и по одной замыкающей пластинке с каждой стороны движка. Соединения оставленных контактов между собой и с образцовыми конденсаторами С2 — С5 разрядной цепи хорошо видны на рис. 77, б. Одна из проволочных скоб, удерживающих движок в корпусе, удалена. Перемещение движка в пределах четырех положений ограничивает прямоугольное отверстие размерами 6×28 мм в лицевой стенке корпуса. Монтажная плата закреплена на этой стенке с помощью четырех резьбовых стоек длиной 20 мм (по высоте переключателя).



Рис. 79. Вид на верхнюю стенку частотомера-приставки

Внешний вид приставки показан на рис. 79. При выборе поддиапазона частот кнопку движка устанавливают в положение, в котором метка на ней располагается точно напротив строки с пределами нужного поддиапазона.

Налаживание частотомера сводится к установке рекомендуемого режима работы транзистора VT1 и калибровке шкалы путем подгонки параметров деталей разрядной цепи. Делать это, разумеется, надо до установки монтажной платы в корпус. Если ошибок в монтаже нет, надо сразу после включения питания измерить напряжение на стабилитроне VD4, которое должно быть в пределах 6,1...7,5 В. При использовании других стабилитронов оно должно соответствовать их напряжениям стабилизации (с учетом допускаемых отклонений).

Режим работы транзистора VT1 по постоянному току устанавливают подбором резистора R2 в базовой цепи, добиваясь того, чтобы напряжение на его коллекторе установилось в пределах 0,4...0,5 В (это соответствует почти полностью открытому состоянию транзистора) и было на 0,2...0,25 В больше напряжения на эмиттерах транзисторов VT2 и VT3. Если после этого на базу транзистора VT1 подать отрицательное (относительно общего провода) напряжение 0,5...1 В, то напряжение на его коллекторе должно уменьшиться почти до нуля. В этот момент транзистор VT2 должен закрыться, а транзистор VT3 открыться. О состоянии транзисторов можно судить по напряжениям на их электродах, измеряемых вольтметром постоянного тока с относительным входным сопротивлением 10 кОм/В.

Затем приставку подключают к микроамперметру авометра, переключатель SA1 устанавливают в положение, соответствующее первому поддиапазону (10...100 Гц), и подают на вход прибора от генератора сигналов ЗЧ переменное напряжение частотой 100 Гц и амплитудой не менее 0,3...0,5 В. Стрелка микроамперметра при этом должна отклониться почти на всю шкалу. Заменяя резистор R10 резисторами меньшего номинала или подключая параллельно ему резисторы значительно большего сопротивления, устанавливают стрелку микро-

амперметра точно на конечную отметку (10) шкалы постоянных напряжений и токов, что соответствует частоте 100 Гц. Если теперь на вход частотомера подать сигнал частотой 50 Гц, стрелка микроамперметра должна остановиться на отметке 5, что соответствует этой частоте сигнала.

Далее переключатель SA1 переводят в следующее положение (измеряемая частота до 1000 Гц), на вход прибора подают сигнал частотой 1 кГц и подбором только конденсатора C3 (обычно подключением параллельно ему конденсатора небольшой емкости) добиваются отклонения стрелки до конечной отметки шкалы. Аналогично подбором конденсаторов C4 и C5 подгоняют под ту же шкалу микроамперметра два оставших поддиапазона частот при входных сигналах частотой 10 и 100 кГц.. При этом сопротивление резистора R10 должно оставаться неизменным, иначе калибровка шкалы будет нарушена. Дополнительно подобранные резистор и конденсаторы разрядной цепи можно припаять к монтажным стойкам соответствующих основных деталей с нижней стороны платы.

Заключительный этап налаживания частотомера — измерение его чувствительности в каждом из поддиапазонов. Делают это, плавно увеличивая уровень входного сигнала с нуля до тех пор, пока стрелка микроамперметра скачком не отклонится до отметки шкалы, соответствующей частоте испытательного сигнала. Как только это произойдет, определяют выходное напряжение генератора, которое и принимают за минимальное напряжение сигнала, при котором частотомер начинает работать.

Шкала частотомера — общая для всех пределов измерения. Поэтому результаты измерения, считанные со шкалы, умножают: при измерении на первом поддиапазоне (до 100 Гц) — на 10, на втором (до 1000 Гц) — на 10^2, на третьем и четвертом — соответственно на 10^3 и 10^4.

В заключение — практический совет. Измеряя сигнал неизвестной частоты, переключатель поддиапазонов устанавливайте сначала в положение, соответствующее наибольшему пределу, и, если стрелка микроамперметра отклоняется на едва заметный угол, переводите переключатель в соседнее положение; и так до тех пор, пока не будет найдено положение, в котором стрелка еще не выходит за пределы шкалы.

Такой порядок пользования прибором исключает резкое зашкаливание стрелки, которое может стать причиной ее искривления.

СЕТЕВОЙ БЛОК ПИТАНИЯ

Сетевой блок питания, о котором неоднократно говорилось ранее,— неотъемлемая часть радиолюбительской лаборатории. Он необходим для питания не только радиоизмерительных приборов, вошедших в комплект лаборатории, но и налаживаемых или иных конструкций на транзисторах или интегральных микросхемах.

Принципиальная схема предлагаемого блока питания показана на рис. 80. Он состоит из двух стабилизированных выпрямителей, каждый из которых питается от своей, изолированной от других, обмотки. Первый (по схеме — верхний) выпрямитель обеспечивает на выходе неизменное постоянное напряжение 9 В при токе нагрузки до 100...150 мА и предназначен в основном для питания приборов измерительной лаборатории. Второй выпрямитель предназначается для

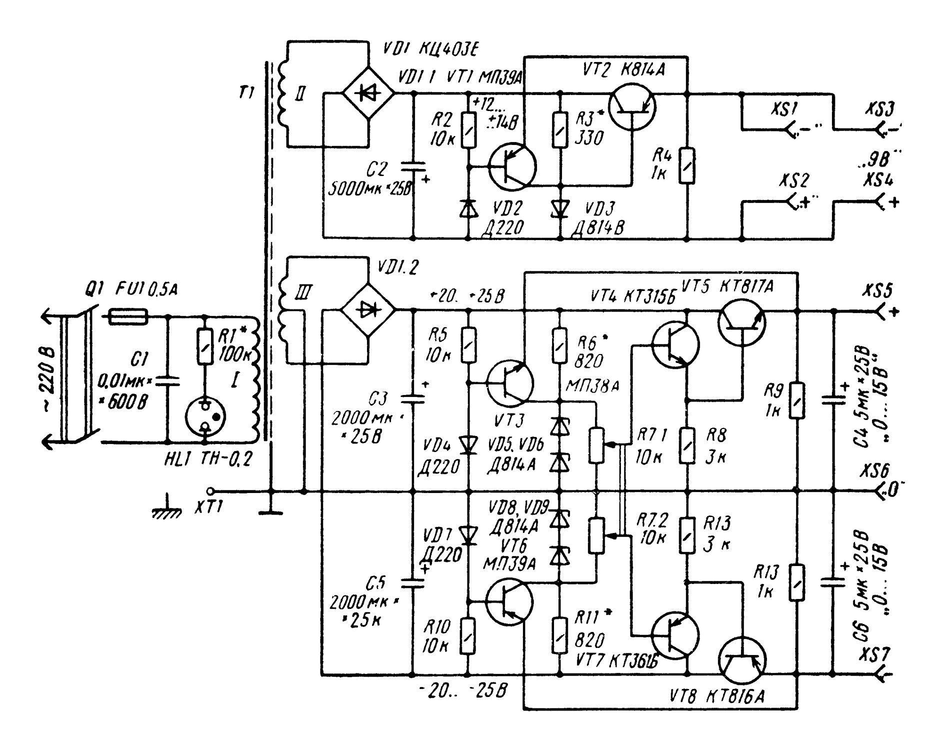


Рис. 80. Принципиальная схема сетевого блока питания

налаживаемой или иной аппаратуры, рассчитанной на питание от одно- или двуполярного источника постоянного тока напряжением до +15 и —15 В при потребляемом токе до 300 мА в каждом плече. В обоих выпрямителях предусмотрена электронная защита от короткого замыкания (КЗ) в нагрузке.

Рассмотрим принцип действия и назначение элементов выпрямителей блока питания.

Трансформатор T1, включаемый обмоткой I в электроосветительную сеть напряжением 220 В, общий для обоих выпрямителей. Неоновая лампа HL1, подключенная к сетевой обмотке через токоограничительный резистор R1, служит индикатором включения блока питания. Конденсатор C1, шунтирующий эту обмотку, ослабляет проникание различных электрических помех из осветительной сети в цепи нагрузок выпрямителей.

Обмотка II трансформатора питает однополярный выпрямитель с выходным напряжением 9 В. Индуцируемое в ней переменное напряжение 8...10 В подводится к двухполупериодному выпрямителю VD1.1, диоды которого включены по схеме однофазного моста. Оксидный конденсатор C2 сглаживает пульсации выпрямленного напряжения, которое поступает на вход компенсационного стабилизатора, обеспечивающего нагрузке, подключенной к его выходу, стабильное постоянное напряжение, не изменяющееся из-за колебаний напряжения электросети и непостоянства потребляемого нагрузкой тока. Основой стабилизатора служит стабилитрон VD3 — специальный кремниевый диод, включенный в обратном направлении. При некотором обратном напряжении такой диод проби-

вается (для него это неопасно), и дальнейшее незначительное повышение напряжения приводит к резкому увеличению тока через него. Другими словами, если обратный ток через стабилитрон не выходит за определенные пределы (для маломощных стабилитронов — от единиц до нескольких десятков миллиампер), напряжение на нем почти не изменяется. Благодаря этому свойству стабилитрона напряжение на подключенной параллельно ему нагрузке также остается практически постоянным. Режим работы стабилитрона, т. е. нужный обратный ток через него, задает резистор R3, называемый балластным.

Снимаемое со стабилитрона напряжение (его называют напряжением стабилизации $U_{ст}$; у используемого здесь стабилитрона Д814В оно может быть в пределах 9...10,5 В) подается непосредственно на базу транзистора VT2, называемого регулирующим. Транзистор включен по схеме эмиттерного повторителя и, следовательно, работает как усилитель тока.

Принцип работы стабилизатора основан на том, что при фиксированном (неизменном) напряжении смещения на эмиттерном переходе транзистора (в данном случае VT2) изменение напряжения между эмиттером и коллектором почти не сказывается на силе эмиттерного тока (в данном случае — тока нагрузки). Иначе говоря, увеличение (уменьшение) напряжения, поступающего на вход стабилизатора от выпрямителя, например, из-за повышения (понижения) напряжения электросети приводит лишь к незначительному увеличению (уменьшению) выходного напряжения, обусловленному в основном приростом (снижением) напряжения на стабилитроне из-за увеличения тока через него.

При увеличении (уменьшении) тока нагрузки и связанном с этим снижением (повышением) напряжения на ней возрастает (падает) напряжение смещения на эмиттерном переходе транзистора VT2, поэтому в результате исходный режим питания нагрузки восстанавливается.

Надежность работы стабилизатора и максимальнй ток, потребляемый нагрузкой, зависят от параметров примененного регулирующего транзистора, поэтому предельно допустимое напряжение между его эмиттером и коллектором должно быть больше максимального входного напряжения, а предельно допустимый ток коллектора — больше максимального тока нагрузки. Чтобы во время работы регулирующий транзистор не перегревался, его устанавливают на теплоотводе.

Резистор R4, нагружающий стабилизатор в отсутствие нагрузки, необходим для того, чтобы и в этом случае регулирующий транзистор работал как усилитель тока. Сопротивление этого резистора должно быть таким, чтобы текущий через него ток был примерно на порядок больше так называемого обратного (начального) тока коллектор — эмиттер регулирующего транзистора — в данном случае примерно 5...10 мА.

На выходе стабилизатора предусмотрены две пары гнезд XS1, XS2 и XS3, XS4, позволяющие подключать к нему одновременно два прибора лаборатории, например транзисторный вольтметр постоянного тока и генератор сигналов ЗЧ, либо использовать одну из них для контроля выходного напряжения.

Теперь — о защите стабилизатора от короткого замыкания в выходной цепи. Предположим, что провода, идущие от одной из пар гнезд к нагрузке, оказались замкнутыми накоротко. В этом случае ток, текущий через регулирующий транзистор VT2, мгновенно увеличивается до значения, во много раз превышающего допустимое, и ограничивается лишь сопротивлением самого выпрямителя и обмотки II сетевого трансформатора. В результате регулирующий транзистор

сильно перегревается, происходит тепловой пробой его p-n переходов, перегружаются и выходят из строя диоды выпрямителя.

Чтобы этого не случилось, в стабилизатор напряжения введен узел защиты от КЗ в нагрузке, состоящий из германиевого p-n-p транзистора VT1, включенного в прямом направлении кремниевого диода VD2 и резистора R2, ограничивающего ток через него значением около 12...15 мА. Как видно, коллектор транзистора VT1 подключен к аноду стабилитрона VD3, эмиттер соединен с выходом стабилизатора, а база — с катодом диода VD2. Последний в данном случае выполняет функции стабистора (так называют стабилизирующие диоды, работающие на прямом участке вольт-амперной характеристики), поддерживающего на базе транзистора VT1 неизменное напряжение около 0,6...0,7 В относительно общего провода.

В обычном режиме работы стабилизатора транзистор узла защиты надежно закрыт, так как напряжение на его базе относительно эмиттера положительное, и никакого влияния на стабилизатор не оказывает. При возникновении КЗ эмиттер транзистора VT1, как и эмиттер регулирующего транзистора VT2, оказывается соединенным с общим плюсовым проводом выпрямителя. Другими словами, напряжение на его базе относительно эмиттера становится отрицательным, вследствие чего транзистор открывается, входит в режим насыщения и своим малым сопротивлением участка эмиттер — коллектор шунтирует стабилитрон VD3. В результате регулирующий транзистор VT2 переходит в состояние, близкое к закрытому, и ток через него мгновенно уменьшается до небольшого безопасного.

После устранения КЗ напряжение смещения на эмиттерном переходе транзистора VT1 снова становится положительным, и он закрывается, а регулирующий транзистор VT2 открывается и вновь начинает работать как усилитель тока.

Переходим к двуполярному выпрямителю. В последние годы радиолюбители все шире используют в своих конструкциях операционные усилители в интегральном исполнении, например, серий К140, К153, К544 и др., требующие двуполярного питания. Есть двуполярный источник напряжения и в описываемом блоке питания. В его состав входят обмотка III сетевого трансформатора T1, имеющая отвод от середины, двухполупериодный выпрямитель VD1.2 с фильтрующими конденсаторами C3, C5 и стабилизаторы напряжения на транзисторах VT4, VT5, VT7, VT8 и стабилитронах VD5, VD6, VD8 и VD9. Цепи R5VD4, R10VD7 и транзисторы VT3, VT6 образуют узлы защиты стабилизаторов от КЗ в нагрузке.

По схемному построению плечи двуполярного источника симметричны и различаются только структурой используемых в них транзисторов и полярностью включения стабилитронов и оксидных конденсаторов. По принципу работы каждый из них аналогичен описанному выше однополярному источнику. Разница лишь в том, что в стабилизаторах двуполярного источника предусмотрено плавное регулирование выходных напряжений, а в качестве регулирующих применены составные транзисторы.

Рассмотрим работу одного из плеч двуполярного источника, например верхнего (по схеме на рис. 80). В нем источником нестабилизированного напряжения служит напряжение, действующее на фильтрующем конденсаторе C3. В параметрическом стабилизаторе использованы два стабилитрона Д814А (VD5, VD6), соединенные последовательно. Снимаемое с них напряжение, равное сум-

ме их напряжений стабилизации (около 15 В), через переменный резистор R7.1, выполняющий функции делителя, подается на базу транзистора VT4, образующего с транзистором VT5 составной регулирующий транзистор стабилизатора верхнего плеча. По мере перемещения движка резистора R7.1 вверх (также по схеме) напряжение смещения на базе составного транзистора, а значит, и на выходных гнездах XS5 и XS6 возрастает от нуля до 15 В. Узел защиты (цепь R5VD4 и транзистор VT3) работает точно так же, как и аналогичное устройство однополярного источника. Оксидный конденсатор C4 служит в основном для шунтирования цепей питания налаживаемых устройств по низшим звуковым частотам.

Конструкция и детали. Внешний вид сетевого блока питания и размещение его основных деталей в корпусе показаны на рис. 81. Конструкция корпуса и гнездовых колодок такая же, как в авометре, измерителе RCL и генераторах сигналов ЗЧ и РЧ. Глубина корпуса определяется габаритами примененных в блоке деталей и выбрана равной 95 мм. Сетевой трансформатор T1 установлен непосредственно на нижней стенке корпуса, а выпрямительный блок VD1,



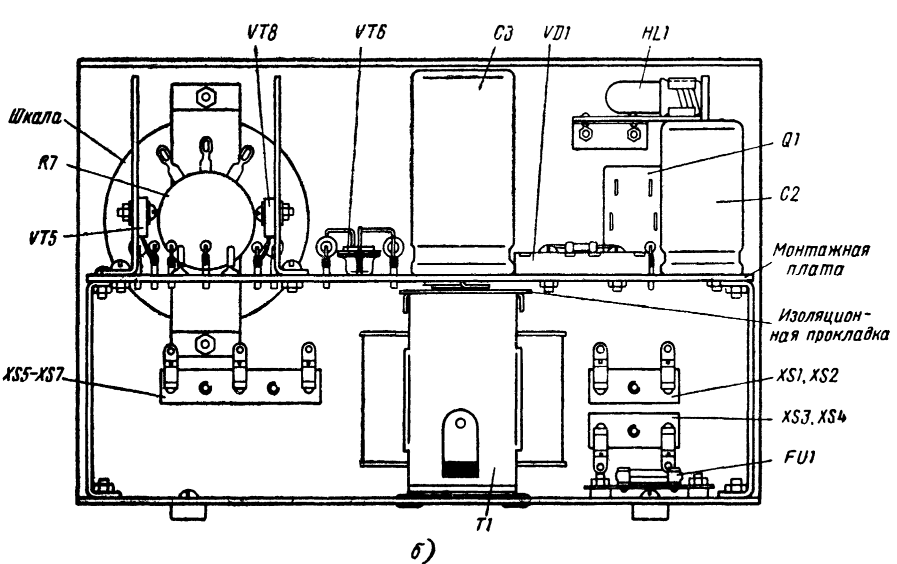


Рис. 81. Внешний вид сетевого блока питания (а) и размещение основных деталей в его корпусе (б)

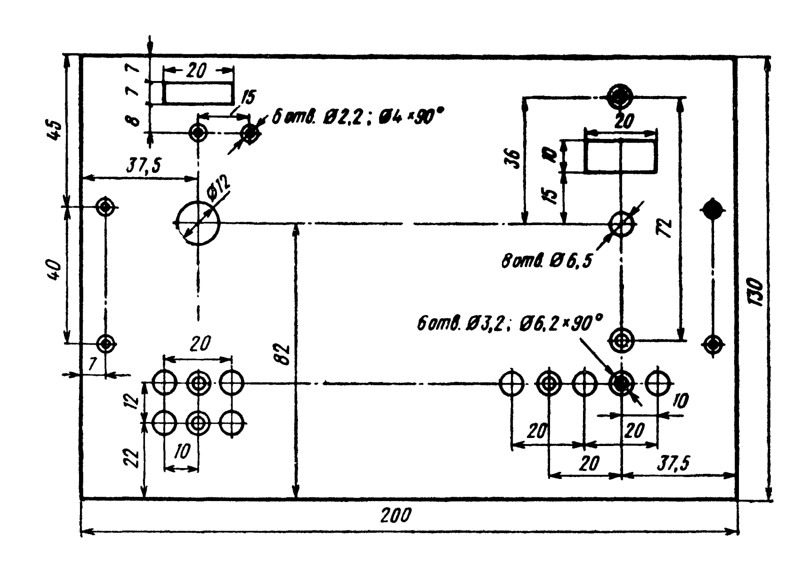


Рис. 82. Разметка передней стенки корпуса

оксидные конденсаторы, транзисторы и другие детали выпрямителей и стабилизаторов смонтированы на гетинаксовой плате размерами 195×90 мм, закрепленной в корпусе с помощью двух П-образных кронштейнов из листового алюминиевого сплава толщиной 1,5 мм. Соединения между трансформатором и выпрямительным блоком КЦ403Е, монтажной платой и гнездовыми колодками и другими деталями, находящимися за ее пределами, выполнены проводом МГШВ сечением 0,35 мм^2. Во избежание касания монтажных стоек и выводов деталей с охватывающей магнитопровод трансформатора стальной обечайкой к последней клеем «Момент» приклеена прокладка из электрокартона толщиной 0.5 мм.

Разметка передней стенки корпуса показана на рис. 82. Прямоугольное отверстие в ее левой части предназначено для «глазка», светящегося при включении индикаторной лампы HL1, отверстие диаметром 12 мм под ним — для выключателя питания Q1. Прямоугольное отверстие в правой части стенки служит «окном» шкалы выходных напряжений двуполярного источника, отверстие диаметром 6,5 мм под ним — для валика сдвоенного переменного резистора R7. Отверстия диаметром 2,2 и 3,2 мм с зенковкой предназначены для винтов с потайными головками и заклепок, которыми к передней стенке корпуса прикреплены гнездовые колодки, полочка с неоновой лампой HL1 (см. рис. 83), кронштейн резистора R7, уголки крепления задней стенки.

Надписи, поясняющие назначение органов управления и гнезд, нанесены на полосы плотной бумаги и прикрыты накладкой из прозрачного органического стекла толщиной 2 мм. С ее внутренней стороны, точно посередине «окна» шкалы двуполярного источника, процарапана и заполнена черной краской риска, служащая указателем шкалы.

На рис. 84 показано крепление на передней стенке корпуса 3 кронштейна 4 со сдвоенным переменным резистором R7 и выходной трехгнездной колодки 1 двуполярного источника. Кронштейн 4 согнут из полосы листового алюминиево-

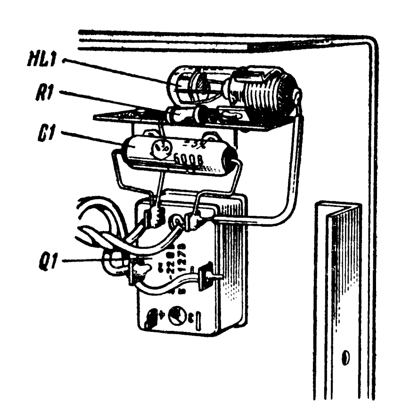


Рис. 83. Монтаж индикатора включения питания и сетевого выключателя на передней стенке корпуса

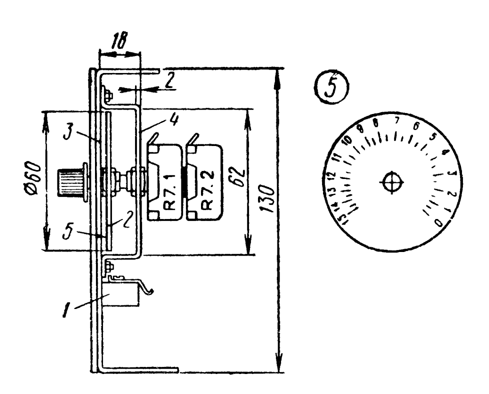


Рис. 84. Крепление на передней стенке сдвоенного переменного резистора R7 и трехгнездной колодки двуполярного источника:

1 — трехгнездная колодка; 2 — диск; 3 — передняя стенка корпуса; 4 — кронштейн; 5 — шкала

го сплава шириной 20 мм. На валик переменного резистора туго насажена втулка с резьбой (такая же, как в измерителе RCL и генераторе сигналов ЗЧ), на которой с помощью гаек закреплен диск 2 диаметром 60 мм со шкалой 5, вычерченной на плотной бумаге. Окончательно кронштейн с переменным резистором закрепляют на передней стенке корпуса после того, как шкала будет отградуирована и приклеена к диску.

Зажим заземления закрепляют на задней стенке корпуса и соединяют с общей шиной регулируемого источника гибким монтажным проводом МГШВ сечением 0,35 мм^2.

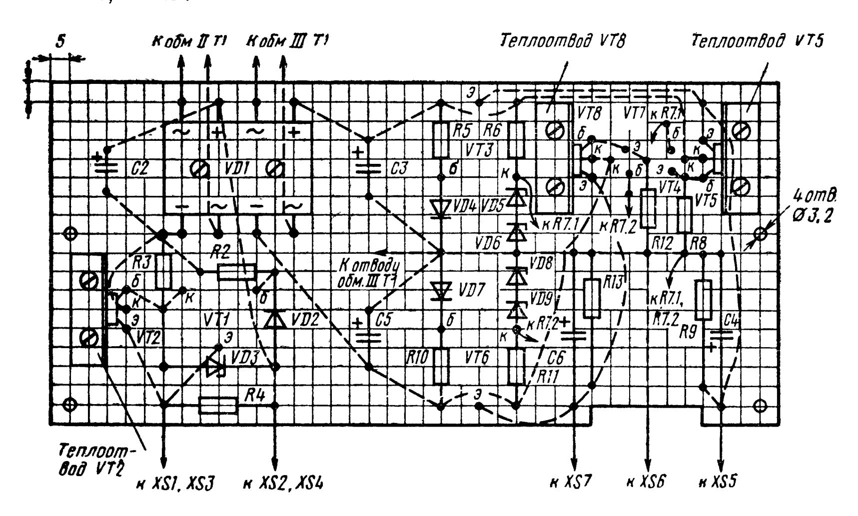


Рис. 85. Разметка монтажной платы блока питания и схема соединений деталей на ней

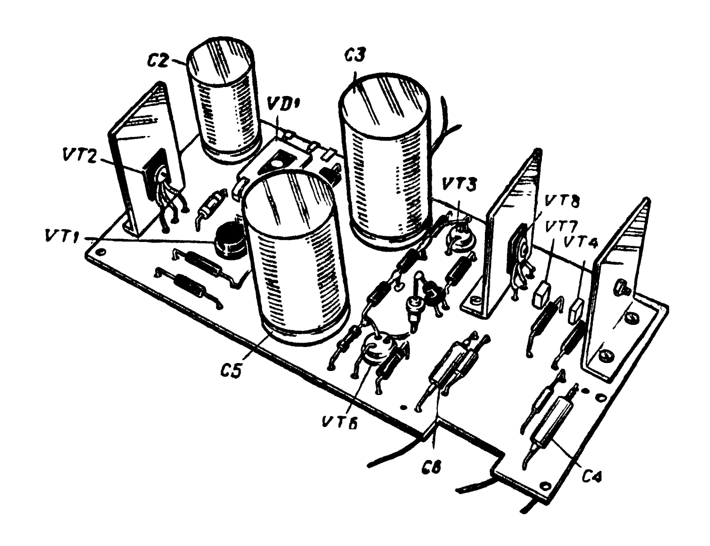


Рис. 86. Внешний вид смонтированной платы блока питания

Разметка монтажной платы (гетинакс, текстолит, стеклотекстолит толщиной 2...3 мм) и схема соединений деталей на ней приведены на рис. 85, а ее внешний вид — на рис. 86. Монтажными стойками служат отрезки медного луженого провода диаметром 1,5 мм, запрессованные в отверстия в плате. Все постоянные резисторы — МЛТ-0,25 (можно использовать МЛТ-0,5), сдвоенный переменный резистор R7 — СП-III группы А (с линейной зависимостью сопротивления от угла поворота движка). Оксидный конденсатор С2 — К50-16, С3, С5 — К50-6, С4 и С6 — К50-3. Емкость конденсаторов С2, С3 и С5 может быть и больше указанной на схеме (это улучшит сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения), а вот увеличивать емкость конденсаторов С4 и С6 нежелательно во избежание нарушения работы узлов защиты двуполярного источника от короткого замыкания в нагрузке.

Диоды VD2, VD4 и VD7 могут быть и другого, чем указано на схеме, типа, но обязательно кремниевыми. Иного типа могут быть и стабилитроны, важно лишь, чтобы снимаемые с них образцовые напряжения ненамного отличались от тех, что обеспечивают примененные в блоке стабилитроны серии Д814. Выключатель Q1 — тумблер ТП2-1.

Выпрямительный блок КЦ403Е можно заменить любым другим из этой серии или двумя блоками КЦ405Е. Можно использовать и выпрямительные диоды, например, серий Д226,

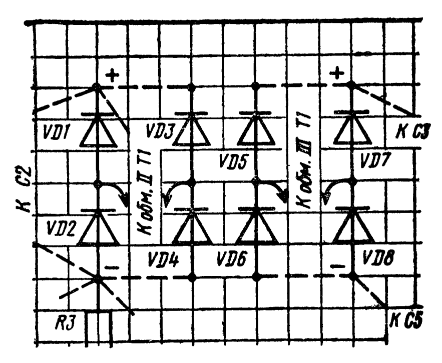


Рис. 87. Схема соединений диодов выпрямительных мостов

МД226, КД105 и т. п., соединив их по схеме моста. Схема соединений диодов такого выпрямителя показана на рис. 87. Здесь диоды VD1 — VD4 образуют выпрямительный мост однополярного источника, а диоды VD5 — VD8 — двуполярного. Германиевые транзисторы VT1 и VT6 — любые из серий МП39 — МП42, VT3 — любой из серий МП35 — МП38 со статическим коэффициентом передачи тока $h_{21э} \geqslant 50$.

Мощные транзисторы VT2, VT5 и VT8 (в пластмассовых корпусах) установлены на Г-образных теплоотводах из листового алюминиевого сплава толщиной 2,5 мм. Размеры части, на которой закреплен транзистор,— 30×70 мм, а полки для крепления теплоотвода к монтажной плате — 30×10 мм. Для лучшего отвода тепла транзисторы закреплены на теплоотводах без изолирующих прокладок, поэтому они и крепящие их винты с гайками М3 не должны касаться ни монтажных проводов, ни винтов крепления платы к кронштейнам, ни стенок корпуса блока.

В качестве сетевого применен переделанный выходной трансформатор кадровой развертки телевизора ТВК-110Л-1. Этот трехобмоточный трансформатор выполнен на ленточном магнитопроводе ШЛМ20×32. Его обмотка I содержит 2140 витков провода ПЭВ-1 0,17, обмотка II — 214 витков ПЭВ-1 0,64, обмотка III — 238 витков провода ПЭВ-1 0,17. В обмотке I, используемой в переделанном трансформаторе в качестве сетевой, число витков уменьшают до 1540, в обмотке II, используемой в качестве обмотки III двуполярного источника, сделан отвод от середины. Обмотка III ТВК-110Л-1 удалена совсем, а на ее месте намотана новая обмотка II для однополярного источника, содержащая 80 витков провода ПЭВ-1 0,36.

Порядок доработки трансформатора ТВК-110Л-1 следующий. Сняв скрепляющий кожух, разбирают магнитопровод и удаляют щечки каркаса, предварительно отпаяв от имеющихся на них контактов выводы обмоток. Затем каркас с обмотками плотно насаживают на деревянную болванку, снимают наружную ленту пропарафиненной бумаги, аккуратно сматывают на катушку возможно большего диаметра весь провод обмотки I (она верхняя) и удаляют находящуюся под ней обмотку III. Далее сматывают 107 витков (т. е. половину) обмотки II, делают отвод и вновь наматывают смотанный провод этой обмотки, после чего, используя провод обмотки I ПЭВ-1 0,17, наматывают им один слой (первый электростатический экран), затем 1540 витков (новая обмотка I), затем еще один отдельный слой (второй электростатический экран), а поверх него — 80...85 витков провода ПЭВ-1 0,36 — обмотку II однополярного источника. Между обмотками и электростатическими экранами, а также между слоями обмоток делают бумажные прокладки из тонкой кабельной или конденсаторной бумаги (можно использовать прокладки, освободившиеся при разборке трансформатора ТВК-110Л-1).

Можно поступить иначе. Точно по сечению сердечника магнитопровода склеить из электротехнического картона новый каркас (в ТВК гильза каркаса пластмассовая), первой намотать на него сетевую обмотку I, затем электростатический экран (в этом случае достаточно одного), затем обмотку II и, наконец, обмотку III.

Магнитопровод собирают, предварительно удалив бумажные прокладки, создававшие в нем немагнитный зазор, и тщательно зачистив мелкозернистой наждачной бумагой места соединения его частей. Надежность работы и КПД трансформатора повысятся, если места стыка половин магнитопровода смазать

при сборке смесью порошка феррита марки 1000НН и эпоксидной смолы, составленной в пропорции 2 : 1.

Разумеется, сетевой трансформатор можно намотать целиком заново, используя подходящий магнитопровод сечением 8...10 см². Число витков в обмотках w, приходящееся на 1 В переменного напряжения, можно определить по упрощенной формуле w=50/S, где 50 — усредненный коэффициент (для описанного трансформатора он взят несколько меньше), а S — сечение магнитопровода в квадратных сантиметрах. Пластины Ш-образных магнитопроводов собирают вперекрышку, чтобы не было воздушного зазора.

Испытание и налаживание. Прежде всего надо проверить правильность монтажа (нет ли ошибок?), обратив особое внимание на полярность включения диодов, стабилитронов, транзисторов и оксидных конденсаторов. Только после этого можно приступать к испытанию и налаживанию блока питания. На это время монтажную плату лучше не закреплять на кронштейнах в корпусе, а расположить ее рядом с ним, соединив с сетевым трансформатором и другими деталями изолированными проводами достаточной длины.

Начать рекомендуется с однополярного источника. Включив питание тумблером Q1, сразу же измеряют вольтметром постоянного тока напряжение на конденсаторе С2 фильтра выпрямителя и выходных гнездах XS1, XS2 или XS3, XS4. На конденсаторе оно может быть в пределах 12...14 В, а на выходе — на несколько десятых долей вольта (на величину напряжения на эмиттерном переходе транзистора VT2) меньше напряжения стабилизации используемого стабилитрона VD3. Установить на выходе напряжение, в точности равное 9 В, можно подбором стабилитрона. Однако в этом нет особой необходимости — для приборов лаборатории отклонение выходного напряжения от указанной величины на несколько десятых долей вольта в ту или иную сторону не имеет практического значения.

Затем в анодную или катодную цепь стабилитрона VD3 включают миллиамперметр с пределом измерения 50...100 мА и подбором резистора R3 устанавливают в этой цепи ток, равный 15...18 мА. При подключении к выходным гнездам нагрузки сопротивлением 60...80 Ом, функции которой может выполнять проволочный резистор с рассеиваемой мощностью 5...10 Вт, ток через стабилитрон должен уменьшиться до 8...10 мА, а напряжение на нагрузке остаться практически неизменным.

Далее испытывают узел электронной защиты стабилизатора от КЗ в выходной цепи. Для этого в разрыв одного из проводов, идущих от конденсатора С2 к стабилизатору напряжения, включают амперметр на ток не менее 0,5 А, к выходу подключают эквивалент нагрузки, потребляющей ток не менее 100... ...150 мА, и коротким отрезком провода или пинцетом замыкают накоротко выходные гнезда испытываемого источника. При этом ток, текущий через амперметр, должен резко уменьшиться до 20...30 мА, что будет свидетельствовать о срабатывании узла защиты. Причиной несрабатывания может быть ошибка в монтаже деталей узла, неисправность или слишком малый коэффициент передачи тока $h_{21э}$ транзистора VT1.

Аналогично испытывают и налаживают каждое плечо двуполярного источника. Напряжения в его цепях, указанные на схеме блока питания, измеряют вольтметром постоянного тока относительно общего нулевого провода. При повороте оси сдвоенного переменного резистора R7 в направлении движения часовой стрелки напряжения на выходах плеч источника должны одновременно и

плавно возрастать от 0 до 15 В, а между гнездами XS5 и XS7 — до 30 В. На замыкание гнезд XS5 и XS7 или подключенных к ним проводов узлы защиты не реагируют.

Шкалу выходных напряжений двуполярного источника градуируют с помощью вольтметра постоянного тока, подключенного к гнездам XS5, XS6 или XS6, XS7. Медленно поворачивая ручку сдвоенного переменного резистора R7, на шкале делают отметки, соответствующие показаниям вольтметра. Образец готовой шкалы показан на рис. 84.

Установив и надежно закрепив в корпусе сетевой трансформатор и монтажную плату, заменяют временные соединения постоянными, еще раз убеждаются в том, что ни один из неизолированных соединительных проводов или теплоотводов транзисторов или какие-либо другие детали источников не соприкасаются с корпусом блока питания, и закрывают блок крышкой.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Электрические процессы, протекающие в цепях радиоэлектронных устройств, часто весьма сложны и характеризуются большим числом параметров, не все из которых можно непосредственно измерить стрелочными измерительными приборами. Действительно, вольтметром переменного тока описываемой лаборатории можно измерить только среднеквадратическое эффективное значение переменного напряжения в относительно узком диапазоне частот и то, если его форма близка к синусоидальной. Если же форма колебаний значительно отличается от синусоидальной, погрешность измерений резко возрастает. Правда, эту погрешность можно учесть, но для этого необходимо знать, насколько форма колебаний отличается от синусоидальной. Для полной же характеристики электрических процессов в той или иной цепи необходимо знать закон их изменения во времени.

Для визуального наблюдения и исследования электрических процессов колебаний любой формы используют электронно-лучевые осциллографы. Осциллограф — это, пожалуй, наиболее универсальный измерительный прибор. Помимо качественной оценки исследуемых колебаний, с помощью осциллографа можно измерить ряд их параметров: максимальные и мгновенные значения напряжений и токов, мощность, длительность импульсов, частоту, девиацию частоты, фазовый сдвиг и т. д. Малая инерционность электронно-лучевых осциллографов позволяет применять их для исследования периодических колебаний в широком диапазоне частот, а также непериодических или редко повторяющихся колебаний, например одиночных импульсов.

Индикатором осциллографа является экран электронно-лучевой трубки. Устройство одной из современных электронно-лучевых трубок показано на рис. 88. Она представляет собой электровакуумный прибор в виде длинного стеклянного баллона 10 цилиндрической формы, на одном из концов которого имеется конусообразное расширение. В цилиндрической части баллона (горловине) размещены две группы электродов, одна из которых образует так называемую электронную пушку, а другая — отклоняющую систему. Экраном 9 трубки служит тончайший слой специального вещества — люминофора, нанесенный на основание конической части. Под ударами электронов, сфокусированных в тонкий луч,

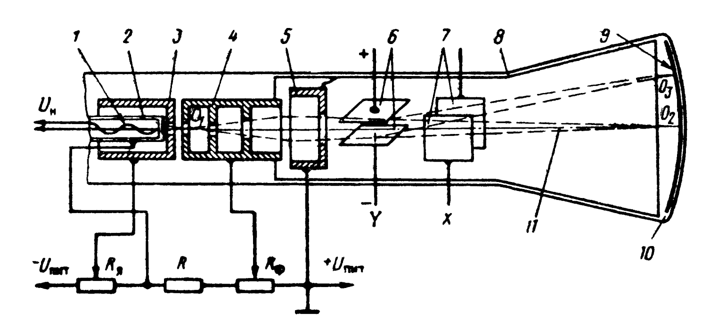


Рис. 88. Устройство электронно-лучевой трубки:

1 — подогреватель; 2 — катод; 3 — управляющий электрод (модулятор); 4 — фокусирующий электрод (первый анод); 5 — анод (второй анод); 6 — пластины вертикального отклонения луча; 7 — пластины горизонтального отклонения луча; 8 — аквадаг; 9 — люминофор; 10 — баллон ЭЛТ; 11 — электронный луч

люминофор начинает светиться, благодаря чему исследуемые колебания становятся видимыми.

Электронная пушка предназначена для создания узкого пучка электронов (электронного луча). В состав электронной пушки входят: катод 2 с подогревателем 1, управляющий электрод или модулятор 3, фокусирующий электрод 4 (или первый анод) и анод 5 (или второй анод).

Источником электронов в трубке, как и в электронных лампах, служит катод 2. Под действием напряжения накала $U_н$ подогреватель 1 раскаляет катод, и его торцевая поверхность, на которую нанесен оксидный слой, начинает испускать электроны. Для формирования электронного луча на фокусирующий электрод 4 и анод 5 подают положительные (по отношению к катоду) напряжения: на первый — 100...500, на второй — 1000...3000 В. Между катодом и этими электродами установлен управляющий электрод 3, охватывающий катод и представляющий собой металлический стакан с небольшим круглым отверстием в дне. На этот электрод подается отрицательное (также по отношению к катоду) напряжение около нескольких десятков вольт, под действием которого электроны группируются вблизи оси трубки. Здесь они попадают в электростатическое поле фокусирующего электрода 4, который, как и анод 5, притягивает их. Под действием электростатического поля часть электронов проскакивает через центральное отверстие управляющего электрода и устремляется к фокусирующему электроду 4.

Если теперь изменить напряжение на управляющем электроде, то изменится и количество электронов, образующих электронный луч, а следовательно, и яркость светящегося пятна на экране трубки. Чем меньше (по абсолютной величине) напряжение на этом электроде, тем ярче изображение на экране, и, наоборот, чем оно больше, тем яркость меньше. При некотором значении этого напряжения изображение на экране полностью пропадает. Иначе говоря, управляющий электрод в электронно-лучевой трубке выполняет те же функции, что и управляющая сетка в электронной лампе (отсюда и его название).

Фокусирующий электрод 4 также выполнен в виде цилиндра, ось которого совпадает с осью трубки, но внутри его имеется несколько перегородок (на рисунке — три) с отверстиями в центре. Попав внутрь фокусирующего элект-

рода, электроны движутся так, что их траектории перекрещиваются вблизи некоторой точки O_1, а затем вновь расходятся. Для ограничения ширины расходящегося электронного пучка и служат перегородки с отверстиями.

Окончательное формирование пучка электронов в луч 11 и фокусировка происходят между фокусирующим электродом 4 и анодом 5. Внутри фокусирующего электрода силовые линии электростатического поля идут под большим углом к оси трубки, поэтому на электроны действуют значительные силы, «прижимающие» их к оси. Внутри же анода направление силовых линий изменяется так, что электроны, продолжая двигаться ускоренно, несколько отходят от оси трубки. За пределами анода электроны движутся с постоянной скоростью под малым углом к оси трубки. Их траектории на этом участке пути прямолинейны и сходятся в некоторой точке O_2, лежащей на оси трубки. Изменяя напряжение на фокусирующем электроде с помощью переменного резистора $R_Ф$, подбирают электростатическое поле между фокусирующим электродом и анодом так, чтобы электронный луч фокусировался в четкую светящуюся точку на поверхности экрана.

Электронно-лучевая трубка, устройство которой мы рассматриваем, обладает одним недостатком. При изменении напряжения на фокусирующем электроде изменяется и яркость светящегося пятна на экране трубки. Происходит это потому, что изменение напряжения на фокусирующем электроде приводит к изменению электростатического поля между ним и управляющим электродом. Этот недостаток устраняют введением еще одного электрода в виде длинного цилиндра с перегородками, который электрически соединяют с анодом. Благодаря этому электроны почти не попадают на фокусирующий электрод, его ток становится близким к нулю и регулировка яркости получается независимой от фокусировки луча. Так, в частности, устроена и электронно-лучевая трубка 5ЛО38, на которой собран описываемый здесь несложный любительский осциллограф.

Достигая экрана и ударяясь в люминофор, электроны луча выбивают из него так называемые вторичные электроны, влияющие на фокусировку луча. Для их отвода на внутреннюю поверхность трубки, начиная от анода и почти до самого экрана, наносят проводящий слой графита 8, который электрически соединяют с анодом. Графитовое покрытие (аквадаг) полезно и тем, что в некоторой степени экранирует луч от воздействия внешних электрических полей. Однако такой экранировки часто недостаточно, поэтому трубку, как правило, дополнительно экранируют, помещая ее в цилиндрический экран из материала с высокой магнитной проницаемостью (пермаллой, сталь).

Для того чтобы электронный луч воспроизвел на экране трубки форму исследуемых электрических колебаний, его, очевидно, необходимо заставить отклониться от центра экрана. Эту задачу выполняет отклоняющая система, состоящая из двух пар отклоняющих пластин 6 и 7, плоскости которых взаимно перпендикулярны и образуют два конденсатора малой (1...3 пФ) емкости. В зависимости от того, в какой плоскости пластины отклоняют луч, их называют пластинами горизонтального отклонения (или пластинами X) и пластинами вертикального отклонения (или пластинами Y).

Если, например, на пластины вертикального отклонения 6 подать некоторое постоянное напряжение, то электронный луч, проходя между ними, отклонится в сторону положительно заряженной пластины, а светящееся пятно переместится в точку O_3. При изменении значения и знака отклоняющего напряже-

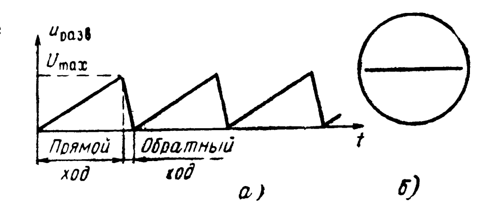


Рис. 89. Пилообразное напряжение развертки (а) и след электронного луча на экране ЭЛТ при воздействии такого напряжения на пластины горизонтального отклонения (б)

ния светящаяся точка будет перемещаться по экрану, прочерчивая на нем вертикальную линию. Эта линия будет видна и при медленном изменении отклоняющего напряжения. Происходит это потому, что все люминофоры, которыми покрывают экраны трубок, обладают так называемым послесвечением, т. е. светятся и после прекращения воздействия на них электронного луча. Это свойство люминофора, а также инерция глаза позволяют наблюдать изображения (осциллограммы) электрических процессов не в виде перемещающейся по экрану точки, а в виде слитной кривой.

При подаче постоянного напряжения на пластины горизонтального отклонения 7 происходит то же самое, только луч отклоняется в горизонтальном направлении. Изменяя напряжение и на этих пластинах, светящуюся точку можно перемещать по всему экрану трубки.

Для того чтобы на экране получилось изображение какого-либо электрического колебания, луч необходимо заставить двигаться по экрану одновременно в двух направлениях — горизонтальном и вертикальном, причем в первом из них он должен перемещаться с постоянной скоростью. Для автоматического перемещения луча по горизонтали на пластины 7 подают линейно изменяющееся напряжение. Этому требованию удовлетворяет напряжение пилообразной формы (рис. 89, а). В первый момент это напряжение равно нулю, поэтому светящаяся точка находится в центре экрана трубки. Постепенно возрастая до некоторого максимального значения U_{max} и резко спадая вслед за этим до нуля, пилообразное напряжение вызывает плавное отклонение луча от центра к краю экрана во время прямого хода и быстро возвращает его к центру во время обратного хода. Так происходит развертка луча по горизонтали. Чтобы развернуть изображение светящейся линии на весь экран, на пластины 7 (рис. 88) кроме пилообразного подают еще и некоторое постоянное напряжение, смещающее начало горизонтальной развертки к краю экрана (рис. 89, б).

Горизонтальная линия на экране сохранится до тех пор, пока на пластины вертикального отклонения 6 не будет подан исследуемый сигнал. Как только это произойдет, прямая линия развертки превратится в кривую, изображающую график изменения исследуемого сигнала во времени.

Однако чувствительность электронно-лучевых трубок, измеряемая отклонением луча (в миллиметрах) при подаче на отклоняющие пластины напряжения 1 В, очень невелика и для большинства трубок составляет 0,1...0,5 мм/В. Поэтому, чтобы на экране трубки получить изображение слабых электрических сигналов (десятые доли вольта и менее), их до подачи на отклоняющие пластины необходимо усилить. Таким образом, обязательными узлами электронного осциллографа должны быть усилитель исследуемого сигнала и генератор пилообразного напряжения горизонтальной развертки.

Структурная схема осциллографа изображена на рис. 90. Помимо усилителя сигнала A4 и генератора развертки G1, он содержит: источник питания U1,

Рис. 90. Структурная схема электронно-лучевого осциллографа

усилитель горизонтального отклонения А3, необходимый для усиления пилообразного напряжения или сигнала, подаваемого на «Вход X» (нужный режим выбирают переключателем SA1); входное устройство А2, позволяющее при необходимости ослабить исследуемый сигнал, подаваемый на вход усилителя вертикального отклонения А4, и узел синхронизации А1. Последний необходим для того, чтобы изображение исследуемого сигнала на экране трубки VL1 было неподвижным и удобным для наблюдения. Источник синхронизации (внешний или исследуемый сигнал) выбирают переключателем SA2.

Прежде чем перейти к описанию осциллографа, входящего в состав лаборатории, познакомимся с его важнейшими параметрами. Это входное сопротивление осциллографа, чувствительность и полоса пропускания канала вертикального отклонения луча и диапазон частот (или длительностей) развертки.

С входным сопротивлением вы уже знакомы.

Чувствительность канала вертикального отклонения луча, выраженная в миллиметрах на вольт, показывает, на сколько миллиметров по вертикали отклонится электронный луч, если на «Вход Y» подать напряжение 1 В. Чувствительность канала вертикального отклонения зависит от коэффициента усиления канала и чувствительности отклоняющей системы электронно-лучевой трубки.

Полоса пропускания — параметр, определяемый частотной характеристикой усилителя вертикального отклонения. По нему можно судить, сигналы каких частот усилитель осциллографа способен усиливать при заданной неравномерности амплитудно-частотной характеристики.

И, наконец, диапазон частот (или длительностей) развертки показывает, какой может быть частота исследуемых колебаний для того, чтобы их было удобно наблюдать на экране трубки. Для получения на экране неподвижного изображения исследуемого периодического сигнала отношение его частоты к частоте пилообразного напряжения развертки должно быть равно целому числу. Очевидно, что при равенстве частот увидеть полностью исследуемый сигнал невозможно, так как часть его развертывается при обратном ходе луча. Поэтому наиболее удобно исследовать форму и измерять параметры колебаний, если их частота не более чем в 2—3 раза превышает частоту развертки. В этом случае на экране трубки видны одно-два полных колебания и одно неполное. Однако на практике часто бывает достаточно примерно оценить форму исследуемого

сигнала, что можно сделать и при большем числе (например, пяти) одновременно наблюдаемых колебаний. Таким образом, если диапазон частот развертки осциллографа от 2 Гц до 50 кГц, то с его помощью (если позволяет усилитель вертикального отклонения) можно исследовать электрические колебания частотой от 4 Гц до 250 кГц.

Описываемый здесь осциллограф имеет следующие параметры. Входное сопротивление — около 500 кОм; чувствительность канала вертикального отклонения луча — около 60 мм/В, рабочий диапазон частот — от 20 Гц до 100 кГц; диапазон частот развертки — от 10 Гц до 35 кГц (поддиапазоны: 10...35, 35...140, 140...800, 800...2000 Гц; 2...8 и 8...35 кГц). Габаритные размеры осциллографа — 200×220×130 мм, масса — около 5 кг.

Принципиальная схема осциллографа изображена на рис. 91. Он состоит из идентичных по схеме усилителей вертикального и горизонтального отклонения луча, генератора развертки, узла электронно-лучевой трубки и источника питания.

Усилитель вертикального отклонения луча выполнен на высокочастотном пентоде VL1 (6Ж3П). Исследуемый сигнал через гнездо XS1 («Вход Y») и конденсатор C1 поступает на переменный резистор R1, с помощью которого осуществляется регулировка усиления канала. С движка этого резистора сигнал поступает на управляющую сетку лампы VL1. Необходимое напряжение смещения на сетке лампы создается в результате падения напряжения на резисторе R3, включенном в катодную цепь лампы. С анода лампы усиленный сигнал через конденсатор C2 подается на пластины вертикальногоо отклонения луча трубки VL4.

Усилитель горизонтального отклонения луча собран на лампе VL2. На входе этого каскада имеется переключатель SA1, с помощью которого он может быть подключен либо к гнезду XS2 («Вход X»), либо к выходу генератора развертки. Усиленное напряжение с анода лампы через конденсатор C6 поступает на пластины горизонтального отклонения луча.

Генератор развертки осциллографа выполнен на двойном триоде VL3 и представляет собой видоизмененный мультивибратор с катодной связью. Формирование пилообразного напряжения, необходимого для развертки луча по горизонтали, происходит следующим образом. При открытом левом (по схеме) триоде лампы VL3 один из конденсаторов C12 — C17 (в зависимости от положения переключателя SA2) быстро заряжается. Ток зарядки, проходя через резистор R24, создает на нем падение напряжения, закрывающее правый триод этой лампы. В этом состоянии лампа находится до тех пор, пока конденсатор не зарядится полностью. Как только это произойдет, правый триод откроется, а левый закроется и конденсатор начнет постепенно разряжаться через резисторы R20, R21 и R24. Когда напряжение на конденсаторе уменьшится до определенного значения, левый триод лампы вновь откроется и весь цикл повторится снова. Плавно частоту генерируемого пилообразного напряжения в пределах поддиапазонов изменяют переменным резистором R21.

Напряжение пилообразной формы снимается с резисторов R20, R21 и через резистор R5, контакты переключателя SA1, конденсатор C5 поступает на переменный резистор R6, выполняющий функции регулятора усиления по горизонтали, а с него — на управляющую сетку лампы VL2 усилителя горизонтального отклонения луча.

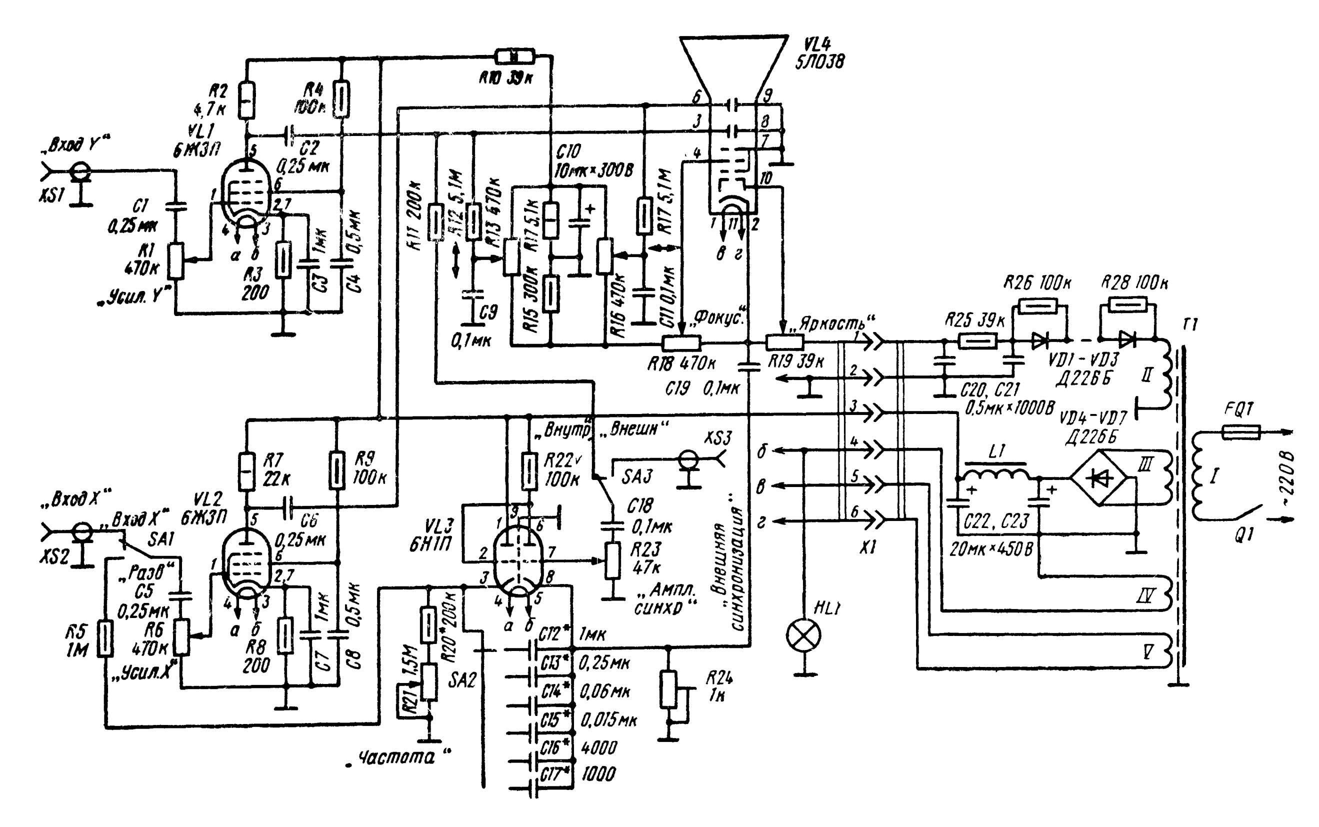


Рис. 91. Принципиальная схема простого осциллографа

Напряжение синхронизации, необходимое для того, чтобы изображение исследуемого сигнала на экране трубки было неподвижным, подается на сетку правого триода лампы VL3. В цепи синхронизации установлен переключатель SA3, позволяющий синхронизировать частоту генератора развертки либо исследуемым сигналом, поступающим с анода лампы VL1 через конденсатор C2 и резистор R11, либо внешним сигналом, подаваемым на гнездо XS3 («Внешняя синхронизация»).

Ранее говорилось, что при прямом ходе пилообразного напряжения электронный луч отклоняется от одного края экрана к другому, а при обратном — возвращается в исходное положение. Очевидно, что изображение исследуемого сигнала будет наблюдаться как при прямом, так и при обратном ходе развертки. Это затрудняет работу с прибором, поэтому электронный луч на время обратного хода развертки выключают (запирают). В описываемом осциллографе это осуществляется положительными импульсами, возникающими в катодной цепи правого триода лампы VL3 во время обратного хода развертки. Эти импульсы через конденсатор C19 подаются на катод электронно-лучевой трубки и гасят электронный луч на время зарядки конденсаторов C12 — C17.

Питается осциллограф от отдельного блока питания, состоящего из сетевого трансформатора T1, двух выпрямителей и фильтров, сглаживающих пульсации выпрямленных напряжений. Выпрямитель для питания анодно-экранных цепей ламп осциллографа выполнен по мостовой схеме на диодах VD4 — VD7. Выпрямленное напряжение через П-образный фильтр, состоящий из конденсаторов C22, C23 и дросселя L1, подается на осциллограф через контакты 2 и 3 разъемного соединителя X1. Выпрямитель, питающий узел электронно-лучевой трубки, собран на диодах VD1 — VD3. Пульсации сглаживаются фильтром C20R25C21. Напряжение питания трубки поступает через контакты 1 и 2 соединителя X1. Для регулирования яркости изображения на экране трубки служит переменный резистор R19, для фокусировки электронного луча — переменный резистор R18. В вертикальном направлении луч перемещают переменным резистором R13, в горизонтальном — резистором R16. Резисторы R12 и R17 предот-

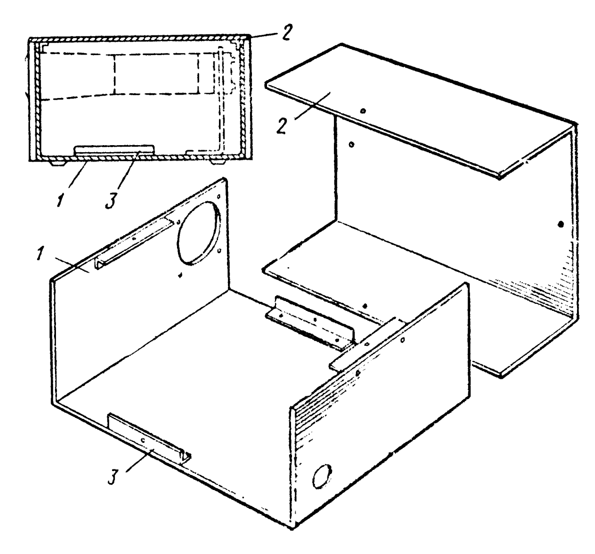


Рис. 92. Устройство корпуса осциллографа:
1 — основание; 2 — крышка; 3 — угольник

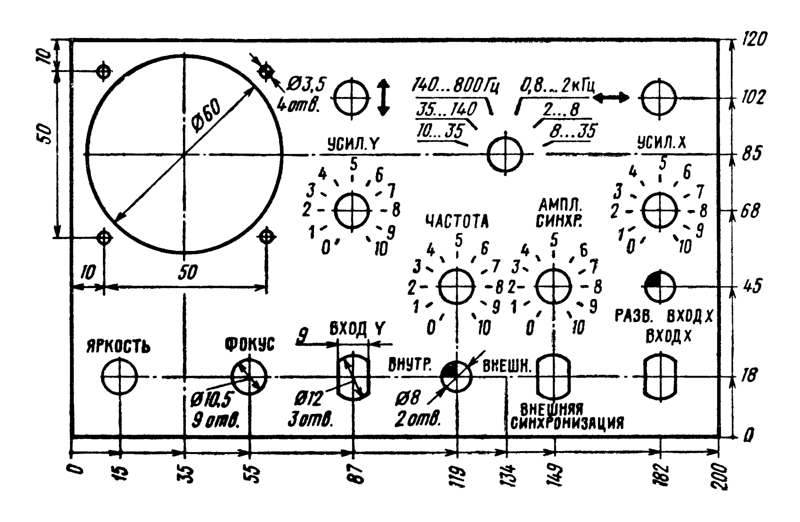


Рис. 93. Разметка передней стенки осциллографа

Рис. 94. Внешний вид и печатная плата усилителя канала вертикального отклонения луча

вращают замыкание отклоняющих напряжений на общий провод через конденсаторы C9 и C11 в случае их пробоя.

Конструкция и детали. Как и описанные ранее приборы лаборатории, осциллограф смонтирован в корпусе, состоящем из двух П-образных деталей (рис. 92). Основание корпуса 1 изготовлено из листового алюминиевого сплава АМц-П толщиной 1,5 мм, крышка — из того же материала толщиной 1 мм. Длина крышки этого прибора взята несколько большей, чем длина основания (она выступает за плоскости его передней и задней стенок на 5 мм). К основанию корпуса крышка крепится винтами М3×6, ввинченными в резьбовые отверстия угольников 3. На передней стенке основания (ее разметка показана на рис. 93) закреплены переменные резисторы R1, R6, R13, R16, R18, R19, R21 и R23, переключатели SA1 — SA3, гнезда XS1 — XS3, индикаторная лампа HL1, на задней — штепсельная часть соединителя X1. Остальные детали осциллографа смонтиро-

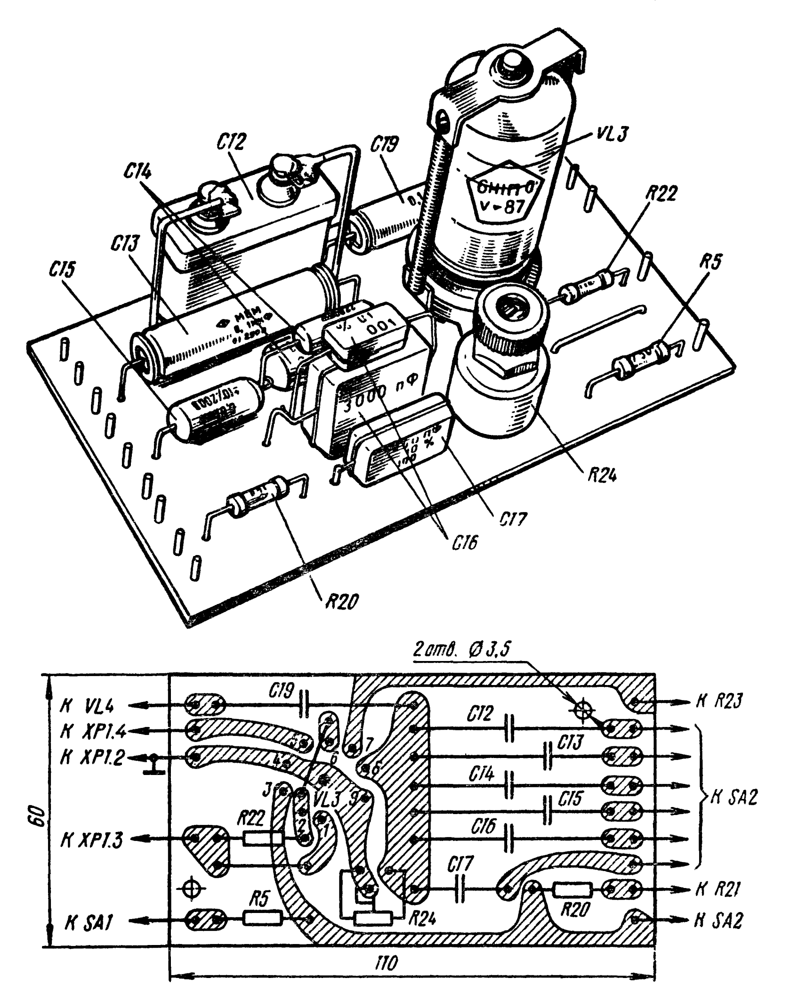


Рис. 95. Внешний вид и печатная плата генератора развертки

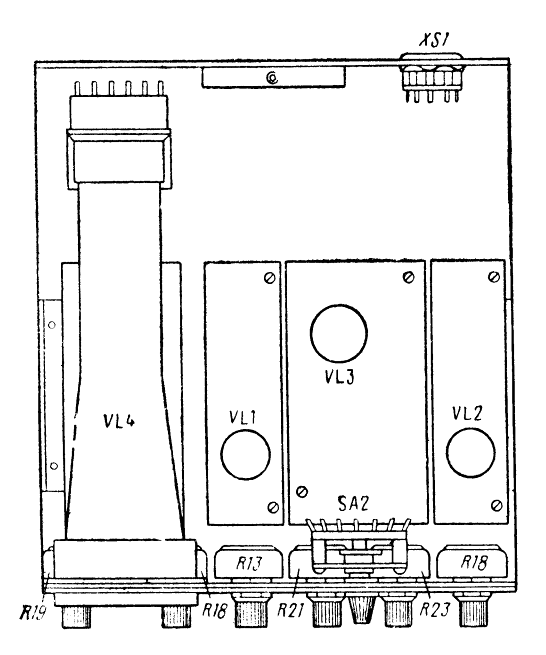


Рис. 96. Размещение деталей и узлов осциллографа в корпусе

ваны на четырех печатных платах, изготовленных из фольгированного стеклотекстолита (можно использовать и гетинакс) толщиной 1,5 мм. На первой из них (рис. 94) смонтирован усилитель канала вертикального отклонения луча, на второй (такой же) — усилитель канала горизонтального отклонения, на третьей (рис. 95) — генератор развертки, на четвертой — детали узла электронно-лучевой трубки (резисторы R11, R12, R14, R15, R17, конденсаторы C9 — C11). Платы закреплены на нижней стенке основания корпуса с помощью винтов М3×6 и резьбовых стоек диаметром 6 и высотой 10 мм. Такими же винтами стойки привинчены и к основанию корпуса. Панель электронно-лучевой трубки закреплена на нижней стенке основания с помощью Г-образного кронштейна. Размещение деталей в корпусе осциллографа показано на рис. 96.

Надписи, поясняющие назначение органов управления и гнезд, нанесены на полоски плотной бумаги и прикрыты сверху прозрачной накладкой из органического стекла толщиной 2 мм.

Детали блока питания смонтированы в отдельном корпусе такой же конструкции, что и сам осциллограф. Блоки соединены между собой шестипроводным кабелем, оканчивающимся штепсельной частью соединителя X1. В качестве разъемного соединителя использованы панель и октальный цоколь негодной радиолампы.

В осциллографе применены постоянные резисторы МЛТ-0,5, МЛТ-1 и МЛТ-2, переменные резисторы СП-I, микротумблеры МТ-1 (SA1 и SA3), переключатель ПГК на одно направление и шесть положений (SA2), лампа накаливания МН13,5-0,16 (номинальное напряжение 13,5 В, номинальный ток 0,16 А), коаксиальные гнезда СР-50-74Ф (их можно заменить гнездами для подключения телевизионной антенны), конденсаторы КСО (C16, C17), МБГО (C3, C4, C7, C8, C12, C21), МБМ (C1, C2, C5, C6, C13 — C15), К50-3Б (C10, C22 и C23) и БМТ-2 (остальные). Выключатель Q1 — ТВ2-1.

Трансформатор T1 блока питания выполнен на магнитопроводе из пластин УШ26, толщина набора 30 мм. Обмотка I содержит 1540 витков провода ПЭВ-2 0,31, обмотка II — 3500 витков провода ПЭВ-2 0,1, обмотка III — 2100 витков провода ПЭВ-2 0,13; обмотки IV и V — по 44 витка провода ПЭЛ 0,86 и ПЭЛ 0,59 соответственно. Дроссель L1 фильтра выпрямителя намотан на магнитопроводе сечением 3,6 см^2 (Ш18×20) проводом ПЭЛ 0,2 до заполнения каркаса.

Налаживание осциллографа начинают с проверки работы узла электронно-лучевой трубки. Для этого, не вставляя в панели лампы VL1 — VL3, подключают к осциллографу блок питания. Движки переменных резисторов R13, R16, R18 и R19 устанавливают в средние положения и включают питание. На экране трубки должна появиться (примерно через 30...40 с) светящаяся точка, яркость которой изменяется при повороте движка переменного резистора R19, а фокусировка — при повороте движка резистора R18. Чтобы не прожечь экран, яркость светящейся точки при дальнейшем налаживании следует поддерживать минимальной. Возможность перемещения луча в вертикальном и горизонтальном направлениях проверяют поворотом движков переменных резисторов R13 и R16.

Убедившись в нормальной работе этого узла осциллографа, вставляют на место лампы VL2 и VL3 и переводят переключатель SA1 в нижнее (по схеме) положение. После прогрева ламп на экране осциллографа должна появиться прямая горизонтальная линия развертки, длина которой изменяется при повороте движка переменного резистора R6. Работу генератора развертки проверяют во всех поддиапазонах, переводя переключатель SA2 из одного крайнего положения в другое. Для подгонки граничных частот поддиапазонов развертки и проверки формы пилообразного напряжения необходимы другой электронно-лучевой осциллограф и генератор сигналов ЗЧ. Пилообразное напряжение для исследования снимают с катода левой (по схеме) половины лампы VL3 и через конденсатор емкостью 0,1...0,5 мкФ подают на вход канала горизонтального отклонения луча контрольного осциллографа (при выключенной развертке), а вход канала вертикального отклонения этого осциллографа соединяют с генератором сигналов ЗЧ. Установив переключатель SA2 в положение, соответствующее первому поддиапазону, движок переменного резистора R21 — в нижнее (по схеме) положение, изменяют частоту генератора ЗЧ так, чтобы на экране осциллографа появилось изображение одного периода его колебаний. Это свидетельствует о том, что частота колебаний генератора развертки и генератора сигналов ЗЧ примерно равны. Затем движок переменного резистора R21 переводят в верхнее (по схеме) положение и, изменяя частоту генератора сигналов ЗЧ, также добиваются получения на экране контрольного осциллографа неподвижного изображения одного периода колебаний. Частоты, отсчитанные по шкале измерительного генератора, и являются граничными для первого поддиапазона развертки. Если генератор сигналов ЗЧ не обеспечивает частоту 10 Гц, то при определении нижней границы первого поддиапазона развертки на экране контрольного осциллографа следует получить изображение двух или трех полных периодов колебаний измерительного генератора, разделив затем частоту, отсчитанную по его шкале, на число периодов. Аналогично измеряют граничные частоты и остальных поддиапазонов. Нужные границы устанавливают подбором резистора R20 (на одном из поддиапазонов) и конденсаторов C12 — C17.

После этого включают развертку контрольного осциллографа и на вход канала вертикального отклонения луча подают (отключив предварительно генератор сигналов ЗЧ) пилообразное напряжение с катода левой половины лампы VL3. Получив на экране контрольного осциллографа 1,5...2 периода колебаний генератора развертки налаживаемого прибора, изменяют сопротивление подстроечного резистора R24 так, чтобы при хорошей линейности пилообразного напряжения время обратного хода стало возможно меньшим.

В последнюю очередь проверяют амплитудно-частотную характеристику ка-

нала вертикального отклонения. Для этого переключатель SA1 переводят в положение «Вход X», SA2 — в положение первого поддиапазона (по схеме — верхнее), SA3 — в положение, показанное на схеме, и вставляют на место лампу VL1. На «Вход Y» от вспомогательного генератора подают переменное напряжение частотой от 20...30 Гц до 100 кГц. С помощью регулятора усиления налаживаемого осциллографа (переменный резистор R1) и регулятора выходного напряжения генератора подбирают такое напряжение на входе, при котором размах (двойная амплитуда) сигнала на экране трубки составляет 30... ...40 мм.

Изменяя частоту сигнала в указанных выше пределах и поддерживая входное напряжение неизменным (это можно делать, контролируя его либо с помощью другого осциллографа, имеющего полосу пропускания примерно до 1 МГц, либо с помощью высокочастотного вольтметра), наблюдают за размахом сигнала на экране налаживаемого осциллографа. При нормальной работе канала вертикального отклонения размах сигнала при крайних значениях частоты не должен заметно падать. Аналогично проверяют амплитудно-частотную характеристику канала горизонтального отклонения.

Чувствительность канала вертикального отклонения измеряют следующим образом. Установив движок переменного резистора R1 в положение, соответствующее максимальному усилению, на вход канала от генератора сигналов ЗЧ подают переменное напряжение частотой 1000 Гц и регулятором выхода генератора подбирают такое его значение, при котором размах сигнала на экране трубки равен 28 мм (10 мм в среднеквадратическом значении). Разделив это отклонение на среднеквадратическое значение напряжения на входе, получим чувствительность канала вертикального отклонения в миллиметрах на вольт (мм/В). Например, если выходное напряжение, измеренное высокочастотным вольтметром, равно 0,1 В, то чувствительность канала вертикального отклонения налаживаемого осциллографа равна 10/0,1=100 мм/В.

Чувствительность канала вертикального отклонения желательно измерить во всех оцифрованных положениях ручки регулятора усиления, а для удобства отсчета размаха сигнала на экран трубки наложить прозрачную сетку с размером ячейки 5×5 мм.

При необходимости полосу пропускания каналов вертикального и горизонтального отклонения луча можно расширить до 500...600 кГц, включив в анодные цепи ламп VL1 и VL2 последовательно с резисторами R2 и R7 корректирующие высокочастотные дроссели индуктивностью 0,5...1,5 мГн. В этом случае целесообразно расширить и диапазон частот развертки, применив переключатель на большее число положений и подобрав емкость конденсаторов в катодных цепях лампы VL3. Для улучшения формы пилообразного напряжения на высших частотах в анодную цепь правого (по схеме) триода лампы VL3 также следует включить корректирующий дроссель индуктивностью 0,5...1,5 мГн.

РАБОТА С ПРИБОРАМИ ЛАБОРАТОРИИ

Еще раз об электрических измерениях

Итак, измерительные приборы, описанные в этой книге, собраны и отрегулированы. Но это еще не все. Очень важно теперь научиться правильно ими пользоваться. Каковы же эти правила? Покажем это на нескольких примерах, наиболее характерных для радиолюбительской практики.

Точность измерений. Как известно, измерить какую-либо электрическую величину абсолютно точно невозможно. Попробуйте, например, измерить несколько раз одно и то же напряжение одним и тем же вольтметром — результаты будут немного различными. Происходит это потому, что градуировка прибора не остается постоянной (пусть даже в небольших пределах), условия измерений, хотя и незаметно, но все же разнятся, да и человек, производящий измерения, каждый раз отсчитывает показания прибора чуть-чуть иначе.

Величина ΔA, на которую результат измерения A отличается от действительного значения измеренной величины A_0, определенной по образцовому (эталонному) прибору, называется абсолютной погрешностью измерения. Например, если при измерении напряжения $U_0=10$ В получен результат измерений $U=9{,}9$ В, то абсолютная погрешность измерения равна —0,1 В.

Однако абсолютная погрешность еще не определяет действительной точности измерений. В самом деле, погрешность, равная —0,1 В, может быть вполне допустимой при измерении напряжения 10 В, но чрезмерно велика при измерении напряжения 1 В. Поэтому точность измерений принято оценивать относительной погрешностью, которая численно равна отношению абсолютной погрешности к измеренному значению, выраженному в процентах:

$$\delta=\frac{\Delta A}{A}\cdot 100\%.$$

В рассмотренном примере

$$\delta=\frac{-0{,}1\ \text{B}}{10\ \text{B}}\cdot 100\%=-1\%.$$

Для большинства стрелочных измерителей абсолютную погрешность для всех точек шкалы можно считать практически одинаковой, а относительная погрешность (это нетрудно видеть из формулы) возрастает от конца к началу шкалы. Поэтому при работе с приборами, отсчетным устройством которых является стрелочный измеритель тока (авометр, вольтметры постоянного и переменного токов), следует выбирать такой предел измерения, при котором стрелка измерителя отклоняется более чем на половину шкалы (лучше всего, если отсчет производится в последней трети шкалы).

Погрешность, возникающую в нормальных условиях работы измерительного прибора, т. е. таких же, как и те, в которых производилась градуировка, называют основной. При изменении этих условий появляются так называемые дополнительные погрешности. Так, изменение температуры окружающей среды приводит к изменению сопротивления дополнительных резисторов в вольтметре, шунтов в амперметре, изменению параметров транзисторов и т. д. Вызываемая этим погрешность называется температурной. В комнатных условиях эта погрешность мала, но если измерения приходится вести на открытом воздухе в разное время года, она значительно возрастает.

При измерениях на переменном токе появляются дополнительные погрешности, зависящие от таких параметров измеряемых величин, как частота, форма колебаний и т. д. Например, при измерении переменного напряжения, частота которого отличается от той, на которой он градуировался, возникает частотная погрешность.

Уменьшение дополнительных погрешностей достигается схемотехническими решениями, применением высокостабильных электро- и радиоэлементов, приня-

тием специальных мер, уменьшающих влияние температуры, стабилизацией питающих напряжений, экранированием приборов и т. д.

Точность, с которой необходимо измерить ту или иную электрическую величину, определяется в первую очередь влиянием погрешности ее измерения на нормальную работу исследуемого или создаваемого устройства. Например, известно, что изменение режима работы транзистора в пределах 3...5% (а часто и в более широких пределах) практически не сказывается на нормальной работе каскада. Следовательно, и нет особой необходимости измерять токи и напряжения в цепях этого каскада с точностью, превышающей те же 3...5%. Приборы, описанные в этой книге, в основном обеспечивают такую точность измерений.

Измерение токов. Включение измерительного прибора в проверяемую электрическую цепь в той или иной степени изменяет режим работы этой цепи и порождает погрешности измерения.

В самом деле, миллиамперметр, используемый для измерения тока, обладает определенным внутренним сопротивлением, и тем бо́льшим, чем меньше предел, на который он включен. Введение такого прибора в проверяемую цепь увеличивает ее сопротивление, поэтому ток в цепи уменьшается. Другими словами, миллиамперметр показывает ток, меньший того, который на самом деле течет в этой цепи. Если проверяемая цепь высокоомная, включение миллиамперметра, внутреннее сопротивление которого относительно невелико, незначительно изменяет сопротивление цепи, поэтому вызванная его включением погрешность измерения тока невелика. Но если цепь низкоомная (т. е. не содержит больших сопротивлений), то результат измерений будет далек от истинного. Для измерения тока в такой цепи необходим прибор с возможно меньшим внутренним сопротивлением, что зависит в основном от сопротивления рамки $R_к$ использованного в нем стрелочного измерителя.

Таким образом, можно сделать следующий важный вывод: влияние миллиамперметра на ток в проверяемой цепи (т. е. погрешность измерения тока в ней) тем меньше, чем меньше внутреннее сопротивление прибора и его доля в общем сопротивлении цепи.

Измерение напряжений. Вольтметр, как уже говорилось в первом разделе книги, подключают параллельно тому участку цепи, на котором хотят измерить падение напряжения. Но вольтметр также обладает некоторым, вполне определенным, входным сопротивлением. Это сопротивление тем больше, чем больший предел измерений выбран. Однако каким бы большим оно не было, подключение вольтметра уменьшает сопротивление проверяемого участка цепи и тем самым снижает падение напряжения на нем.

Большинство цепей радиотехнической аппаратуры сравнительно высокоомные, поэтому измерять напряжения в них можно только вольтметрами с относительным входным сопротивлением не менее 5...10 кОм/В. В противном случае вольтметр покажет значительно меньшее напряжение, чем было в цепи до его подключения. Так, если сопротивление проверяемой цепи R=50 кОм, то подключение параллельно ей вольтметра с относительным входным сопротивлением 1 кОм/В, включенным на предел измерений 100 В, равнозначно подключению к цепи сопротивления $R_в$, равного 100 кОм. В результате общее сопротивление цепи уменьшится до значения

$$R_{общ}=\frac{RR_в}{R+R_в}=\frac{50\cdot 100}{50+100}=33{,}3\ кОм.$$

К чему это может привести? Если, например, до подключения вольтметра ток в цепи создавал падение напряжения U, равное 70 В (при этом ток $I = U/R = 70/50000 = 0,0014$ А), то после подключения прибора падение напряжения уменьшится (при том же токе) и будет

$$U' = I\ R_{общ} = 0,0014 \cdot 33300 = 46,62\ \text{В}.$$

Вот эти-то 46,62 В (вместо 70 В) и покажет вольтметр с относительным входным сопротивлением 1 кОм/В на пределе 100 В. Ошибка в измерениях, как видно из примера, очень велика. Если же падение напряжения в этой цепи измерить вольтметром с относительным входным сопротивлением 10 кОм/В (предел измерений тот же, т. е. 100 В), то он покажет напряжение 66,7 В. Это уже довольно близко к истине. Напомним, что именно такое относительное входное сопротивление имеет описанный ранее авометр в режиме измерения напряжения, поэтому им можно измерять напряжения во многих цепях не только транзисторной, но и ламповой радиоаппаратуры.

Еще меньше погрешность измерений при использовании транзисторного вольтметра постоянного тока, относительное входное сопротивление которого равно 100 кОм/В. Он покажет в тех же условиях напряжение 69,6 В.

Учитывая сказанное о влиянии измерительного прибора на измеряемые величины, рассмотрим несколько наиболее характерных примеров измерений из радиолюбительской практики. В описаниях любительских и промышленных конструкций чаще всего указывают напряжения на электродах ламп и транзисторов, на выводах аналоговых микросхем. Схемы измерений напряжений на электродах транзисторов разной структуры показаны на рис. 97, а и б. Сопротивление нагрузочных резисторов в коллекторных цепях $R_к$ обычно не превышает нескольких килоом. Однако это вовсе не значит, что напряжения на электродах транзисторов можно измерять низкоомными вольтметрами. Дело в том, что эти напряжения невелики, поэтому вольтметр приходится переключать на низкие пределы измерений, где входное сопротивление может оказаться лишь ненамного больше сопротивления контролируемой цепи. Во всяком случае, чтобы погрешность измерений была не очень велика, следует использовать вольтметр с относительным входным сопротивлением не менее 10 кОм/В.

Напряжения в цепях транзисторной аппаратуры можно измерить и косвенным способом. Предположим, например, что возникла необходимость проверить напряжение на коллекторе транзистора, а подходящего прибора, т. е. вольтмет-

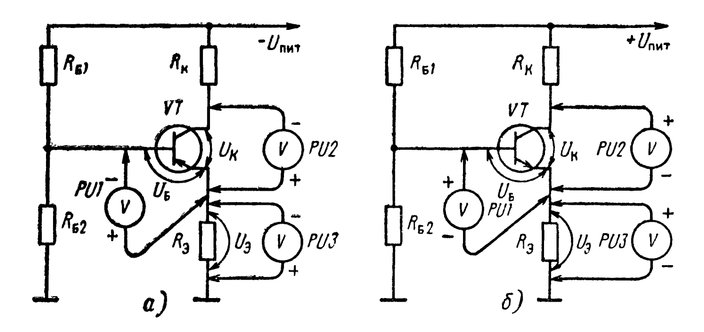
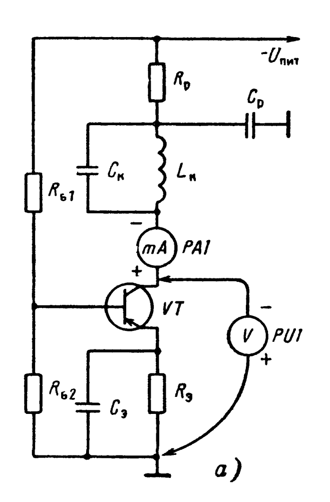


Рис. 97. Схемы измерения напряжений на электродах транзисторов структуры p-n-p (а) и n-p-n (б)



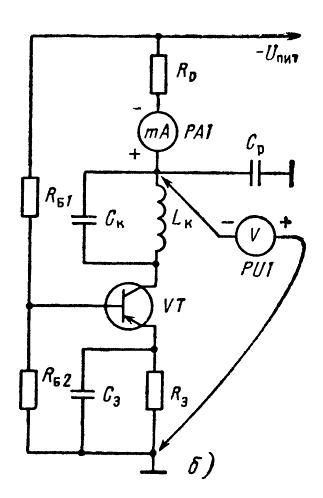


Рис. 98. Неправильное (а) и правильное (б) подключение приборов для измерения коллекторного тока и напряжения на коллекторе транзистора каскада усиления РЧ

ра с нужным относительным входным сопротивлением, нет. В подобном случае вначале определяют ток через транзистор: $I = U_э/R_э$, где $U_э$ — напряжение на резисторе $R_э$, измеренное вольтметром с относительным входным сопротивлением 3...5 кОм/В. Напряжение $U_к$ в этом случае рассчитывают по формуле:

$$U_к = U_{пит} - IR_к - U_э.$$

Значительно большее влияние оказывают измерительные приборы на режим работы радиоаппаратуры по переменному току. Например, если миллиамперметр PA1 (рис. 98, а) включить между коллектором транзистора и колебательным контуром, то через прибор и соединительные провода потекут обе составляющие коллекторного тока — постоянная и переменная. Сам прибор магнитоэлектрической системы не будет реагировать на переменную составляющую, но вместе с соединительными проводами он может создать условия для возникновения (из-за паразитной емкости связи по высокой частоте между коллекторной и базовой цепями) самовозбуждения проверяемого каскада. В результате режим работы транзистора значительно изменится и показания миллиамперметра PA1 не будут соответствовать истинному значению тока в коллекторной цепи. Чтобы этого не случилось, миллиамперметр следует включать в тот участок коллекторной цепи, где нет высокочастотной составляющей (рис. 98, б), в нашем примере — после конденсатора $C_р$ развязывающего фильтра, замыкающего эту составляющую на общий провод («землю») устройства. Если такого фильтра в устройстве нет, то на время измерений прибор необходимо шунтировать конденсатором емкостью 0,1...0,5 мкФ. А если этого окажется недостаточно для срыва самовозбуждения (паразитную связь можно обнаружить по изменению показаний прибора при перемещении соединительных проводов), то базу транзистора проверяемого каскада необходимо соединить с общим проводом конденсатором емкостью 0,01...0,05 мкФ.

Вольтметр постоянного тока также надо подключать к тем точкам цепей, где отсутствует переменная составляющая, и, если надо, шунтировать сам прибор конденсатором.

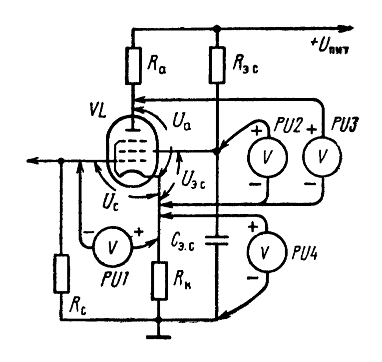


Рис. 99. Измерение напряжений на электродах электронной лампы

Все сказанное здесь относительно устройств на транзисторах относится и к ламповым конструкциям, с которыми вам, возможно, еще придется иметь дело, например, при ремонте. Схема измерения напряжений на электродах электронной лампы показана на рис. 99. Напряжение на аноде триода U_A можно измерить вольтметром с относительным входным сопротивлением 1...5 кОм/В. Погрешность измерения будет невелика. Но если таким вольтметром измерить напряжение на аноде пентода, обладающего большим внутренним сопротивлением (несколько сотен килоом), то погрешность измерения значительно возрастет, так как входное сопротивление вольтметра в этом случае соизмеримо с внутренним сопротивлением пентода.

Поэтому для измерения напряжения на анодах и экранирующих сетках тетродов и пентодов следует использовать вольтметры с относительным входным сопротивлением не менее 10...20 кОм/В. Этому требованию в полной мере отвечают авометр и вольтметр постоянного тока, описанные в этой книге.

Сложнее измерить напряжение смещения на управляющей сетке электронной лампы. Дело в том, что если вольтметр включить непосредственно между сеткой и катодом лампы (см. рис. 99), то он зашунтирует резисторы R_C и R_K. Сопротивление первого из них обычно большое (470 кОм...1 МОм), а входное сопротивление вольтметра на пределе измерений 5...10 В едва достигает половины общего сопротивления между точками включения прибора. Напряжение на участке сетка — катод резко снизится, и ошибка измерения при таком включении вольтметра будет очень большой.

Однако измерить напряжение смещения можно не только непосредственно на сетке относительно катода, но и на резисторе R_K, на котором создается это напряжение. Сопротивление этого резистора редко превышает 1 кОм, поэтому достаточно точно измерить напряжение на нем можно даже сравнительно низкоомным вольтметром (PU4 на рис. 99).

При измерении переменных напряжений как в транзисторной, так и в ламповой аппаратуре вольтметр следует подключать к контролируемой цепи через керамический, слюдяной или бумажный конденсатор, чтобы не пропустить к прибору постоянную составляющую тока. Емкость разделительного конденсатора должна быть тем больше, чем ниже частота тока. При измерениях в цепях трактов ЗЧ она должна составлять 0,5...1 мкФ.

Измеряя переменные напряжения и токи, важно помнить о следующем. Если постоянные напряжение и ток вполне характеризуются некоторым одним числовым значением, например напряжение 5 В, ток 8 мА, то переменные напряжение и ток произвольной формы одним числовым значением полностью охарактеризовать невозможно. Поэтому наиболее часто используют следующие три значения переменных напряжений (токов): максимальное, средневыпрямленное и среднеквадратическое.

Максимальное — это наибольшее мгновенное значение сигнала на протяжении заданного интервала времени. При синусоидальной форме напряжения (тока) его называют амплитудным значением (или просто амплитудой). Его важно знать, например, для оценки электрической прочности изоляции и в ряде других случаев.

Средневыпрямленное — это среднее значение сигнала после полного выпрямления. Для напряжений и токов симметричной формы (например, синусоидальной) его можно определить как среднее арифметическое мгновенных значений за положительный полупериод. Знать это значение важно, например, при проектировании устройств для зарядки аккумуляторов.

Среднеквадратическое (эффективное) значение переменного тока (напряжения) численно равно такому постоянному току (напряжению), который создает в соответствующих условиях равный энергетический (например, тепловой) эффект. Это значение иногда называют действующим. Если в тексте или на схеме указано числовое значение переменного тока (напряжения) без каких-либо оговорок, то обычно имеется в виду его среднеквадратическое значение.

Полезно помнить, что максимальное значение не может быть меньше среднеквадратического, а среднеквадратическое — меньше средневыпрямленного. Если ток имеет синусоидальную форму, то максимальное, среднеквадратическое и средневыпрямленное значения относятся одно к другому как 1,41 : 1,0 : 0,9. Если же ток имеет пилообразную (треугольную) форму, то те же значения соотносятся как 1,73 : 1,0 : 0,86. А если форма сигнала симметричная прямоугольная, то все три значения одинаковы.

Авометр в режиме измерения переменного тока и транзисторный вольтметр переменного тока, вошедшие в описанную измерительную лабораторию, являются приборами выпрямительной системы и реагируют на средневыпрямленное значение переменного напряжения. Но шкалы этих вольтметров проградуированы в среднеквадратических значениях напряжения синусоидальной формы. Поэтому если возникает необходимость оценить амплитудное значение того или иного синусоидального напряжения, показание вольтметра надо умножить на 1,41, а для оценки средневыпрямленного значения — на 0,9.

Если измеряемое переменное напряжение имеет симметричную прямоугольную форму, то, чтобы найти максимальное, средневыпрямленное или среднеквадратическое значение этого напряжения, показания вольтметров лаборатории надо умножить на 0,9. Для получения средневыпрямленного значения напряжения пилообразной формы показание вольтметра надо умножить на 0,9, максимального — на 1,8, а среднеквадратического — на 1,04.

Измерение сопротивлений. Особых трудностей здесь нет. Надо только помнить, что при измерении сопротивления высокоомных резисторов нельзя касаться пальцами одновременно обоих выводов, иначе омметр покажет сопротивление меньше фактического — скажется электрическая проводимость кожи.

Сложнее измерить сопротивление резистора, вмонтированного в радиоприемник, усилитель или иное радиоэлектронное устройство. При таких измерениях питание устройства должно быть выключено, а конденсаторы, особенно оксидные, полностью разряжены, иначе будут значительные погрешности в измерениях и омметр может испортиться. Далее надо по принципиальной схеме проследить, не подключены ли параллельно измеряемому резистору другие резисторы, обмотки трансформаторов, дроссели, катушки индуктивности или другие детали, так как в этом случае омметр будет измерять сопротивление не

одного резистора, а общее сопротивление сложной цепи. В большинстве случаев для измерения сопротивления резистора или иной детали, вмонтированной в устройство, приходится выпаивать их полностью или отпаивать хотя бы один из выводов.

Измерения с помощью осциллографа. Наиболее простой вид измерений с помощью осциллографа — это измерение напряжений. Исследуемое напряжение подают на «Вход Y» осциллографа и устанавливают регулятор усиления в одно из оцифрованных положений, при котором размах (двойная амплитуда) сигнала занимает большую часть экрана. Для оценки исследуемого напряжения по сетке, наложенной на экран осциллографа, отсчитывают размах сигнала в миллиметрах и делят его на чувствительность канала, соответствующую данному положению ручки регулятора усиления. Например, если эта ручка установлена в положение, соответствующее чувствительности 50 мВ, а размах сигнала составляет 40 мм, то это значит, что измеряемое напряжение равно $40/(50\cdot 2{,}8)=0{,}29$ В (среднеквадратическое значение).

Несколько сложнее измерить с помощью осциллографа ток в какой-либо цепи. Дело в том, что осциллограф реагирует только на напряжение, подаваемое на отклоняющие пластины. Поэтому при измерении тока поступают следующим образом. В проверяемую цепь последовательно включают резистор. Протекая по нему, ток создает на нем некоторое падение напряжения, которое уже можно измерить описанным выше способом. Если это напряжение известно, то силу тока в цепи можно определить, разделив напряжение на сопротивление включенного в цепь резистора. Следует, однако, учесть, что такой расчет верен только на сравнительно низких частотах (до десятков килогерц), где еще не сказывается влияние емкости и индуктивности соединительных проводов, резистора и входной емкости осциллографа. Сопротивление резистора выбирают небольшим, если сила тока в цепи велика, и большим, если она мала, т. е. стараются свести к минимуму влияние резистора на ток в цепи.

Таким же способом измеряют мощность, рассеиваемую на каком-либо элементе цепи, сопротивление R которого известно. Определив напряжение U на этом элементе, мощность рассчитывают по формуле $P=U^2/R$.

С помощью осциллографа нетрудно измерить фазовый сдвиг между двумя напряжениями или токами синусоидальной формы. Для этого одно из исследуемых напряжений подают на «Вход Y», другое на «Вход X» и уравнивают (с помощью регулятора усиления) их амплитуды. При этом на экране осциллографа будет наблюдаться одна из фигур Лиссажу: наклонная прямая, окружность или эллипс — в зависимости от фазового сдвига исследуемых напряжений. Фигуры Лиссажу, соответствующие фазовому сдвигу, кратному 45°, показаны на рис. 100. Промежуточные значения фазового сдвига легко определить по формуле $\sin\alpha=\pm Б/А$. Размеры А и Б указаны на рисунке.

Если на входы каналов горизонтального и вертикального отклонения луча подать синусоидальные сигналы разных частот, то при определенных соотношениях частот на экране осциллографа появится более сложная фигура Лиссажу, по виду которой можно определить их соотношение. Обычно сигналы известной частоты подают на «Вход X», а неизвестной — на «Вход Y». При измерении стараются, изменяя частоту сигнала, поданного на «Вход X», получить как можно более простую фигуру, так как это позволяет избежать ошибок при расшифровке осциллограмм. Расшифровывают осциллограмму так: подсчитывают число точек касания фигуры с вертикальной линией и число точек касания

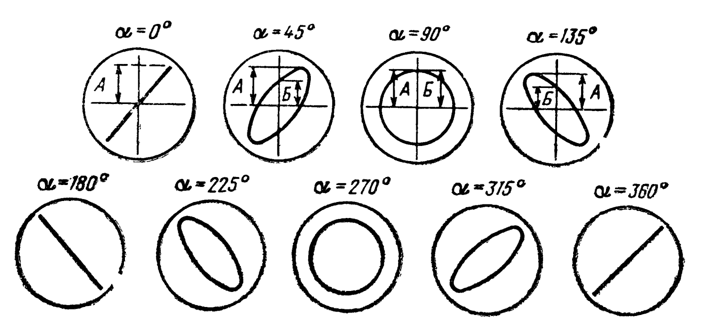


Рис. 100. Фигуры Лиссажу при разных фазовых сдвигах колебаний

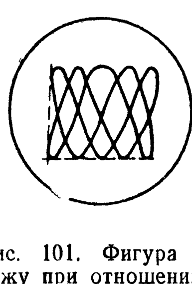


Рис. 101. Фигура Лиссажу при отношении частот 2 : 5

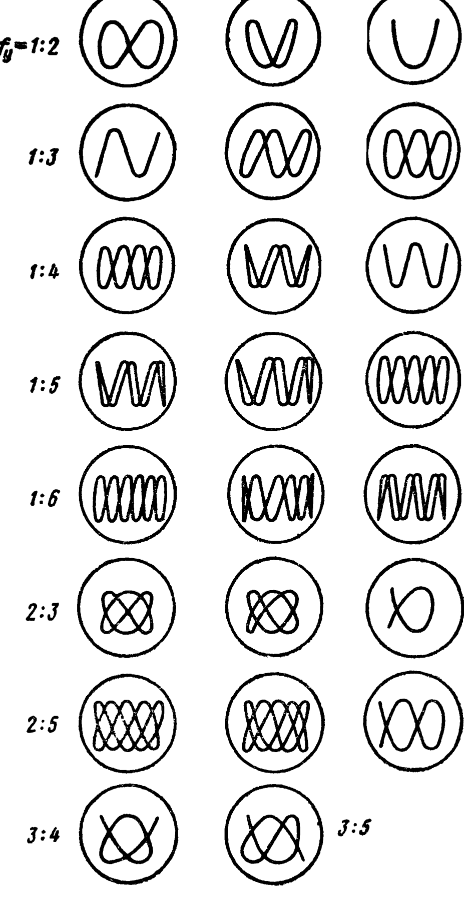


Рис. 102. Фигуры Лиссажу при разных отношениях частот

с горизонтальной, а затем делят первое число на второе. Предположим, что при измерении частоты мы получили фигуру, изображенную на рис. 101. Ее выпуклые части касаются вертикальной линии в двух местах, а горизонтальной — в пяти. Следовательно, отношение частот исследуемого f_x и эталонного $f_э$ сигналов равно 5 : 2. Если частота эталонного сигнала равна 200 Гц и подан он на вход X, то частота исследуемого сигнала

$$f_x = \frac{5f_э}{2} = \frac{5 \cdot 200}{2} = 500 \text{ Гц}.$$

При измерении низких частот (до 150...200 Гц) в качестве эталонного сигнала можно использовать напряжение частотой 50 Гц, сняв его с понижающей обмотки сетевого трансформатора.

Наиболее характерные фигуры Лиссажу для различных соотношений частот и при разном фазовом сдвиге показаны на рис. 102.

Измерение параметров усилителей звуковой частоты

В конструкторской деятельности многих радиолюбителей усилитель звуковой частоты ЗЧ занимает одно из первых мест. От усилителя ЗЧ в значительной степени зависит качество звучания радиовещательного приемника, телевизора, магнитофона.

В описаниях усилителей ЗЧ, предназначенных для электрофонов, магнитофонов, радиовещательных приемников, обычно указывают их номинальную выходную мощность, номинальное входное напряжение, коэффициент гармоник и параметры частотной характеристики. По этим основным данным уже можно судить о качестве работы усилителя и пригодности его для тех или иных целей.

Напомним вкратце, что собой представляют названные параметры усилителя ЗЧ.

Номинальная выходная мощность $P_{ном}$, выраженная в ваттах или милливаттах,— это мощность, выделяемая на нагрузке (звуковой катушке динамической головки громкоговорителя, обмотке головного телефона), при которой нелинейные искажения, вносимые усилителем, соответствуют указанным в описании. При дальнейшем увеличении выходной мощности эти искажения значительно возрастают.

В процессе усиления любого сигнала из-за нелинейности характеристик транзисторов или электронных ламп в усиливаемом сигнале появляются колебания частотой в 2, 3, 4 и более раз выше основной частоты, т. е. появляются вторая, третья и т. д. гармоники сигнала. Они и искажают усиливаемый сигнал. Гармонические искажения растут по мере увеличения выходной мощности усилителя ЗЧ. Оценивают их коэффициентом гармоник. Мощность, при которой искажения (коэффициент гармоник) достигают 10%, принято называть максимальной выходной мощностью усилителя ЗЧ (ее обозначают P_{max}).

Коэффициент гармоник $K_г$, измеряемый при синусоидальном входном сигнале, можно выразить процентным отношением суммарного напряжения всех гармоник $U_г$ к выходному напряжению $U_{вых}$: .

$$K_г \approx \frac{U_г}{U_{вых}} \cdot 100\%.$$

Допустимый коэффициент гармоник $K_г$ устанавливается соответствующими государственными стандартами (ГОСТ) на бытовую радиоприемную, звукозаписывающую, усилительную и другую аппаратуру. Самые низкие значения коэффициента гармоник установлены для аппаратуры первой и нулевой групп сложности: от 1...2% для магнитофонов до нескольких тысячных долей процента для усилителей ЗЧ в блочном исполнении.

Номинальное входное напряжение усилителя ЗЧ — это то напряжение сигнала в милливольтах, которое необходимо подать на его вход, чтобы получить на нагрузке номинальную выходную мощность. У большинства усилителей ЗЧ, предназначенных для воспроизведения механической записи с грампластинок, номинальное входное напряжение составляет 200...250 мВ, а усилителей канала записи магнитофонов (с микрофонного входа)—1...2 мВ.

Частотные свойства усилителя ЗЧ описывают амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) — зависимостью напряжения выходного сигнала от частоты при неизменном напряжении входного сигнала $U_{вх}$. По ряду причин усилители ЗЧ неодинаково усиливают колебания разных частот. Обычно хуже других усиливаются сигналы самых низших $f_н$ и самых высших $f_в$ частот, поэтому АЧХ усилителей ЗЧ неравномерны и имеют спады на краях рабочего диапазона частот. Границами диапазона считают частоты, на которых усиление снижается на 30% (−3 дБ) по сравнению с усилением на частоте 1000 Гц. Эти-то частоты и указывают в описаниях и паспортных данных усилителей ЗЧ. Рабочий диапазон частот усилителей ЗЧ сетевых радиовещательных приемников может быть от 30...40 до 15 000...16 000 Гц, а усилителей малогабаритных приемников — от 200...300 до 3000...4000 Гц.

Вы смонтировали и наладили усилитель ЗЧ. Как с помощью приборов лаборатории измерить его основные параметры, чтобы сравнить их с заданными? Для этого потребуются: генератор сигналов ЗЧ, транзисторный вольтметр переменного тока и блок питания, причем приборы должны питаться от разных источников (исследуемый усилитель ЗЧ обычно имеет свой источник питания). Нужен еще эквивалент нагрузки $R_э$ — проволочный резистор, сопротивление которого равно полному сопротивлению звуковой катушки динамической головки или номинальному сопротивлению акустической системы, на работу с которыми рассчитан усилитель ЗЧ.

В комплекте приборов лаборатории нет измерителя нелинейных искажений (коэффициента гармоник), редко применяемого радиолюбителями. Поэтому оценивать искажения предлагается по упрощенной методике, пользуясь любым низкочастотным осциллографом, например, описанным в этой книге. В таком случае измерения начинают со снятия амплитудной характеристики усилителя — зависимости выходного напряжения $U_{вых}$ усиливаемого сигнала частотой

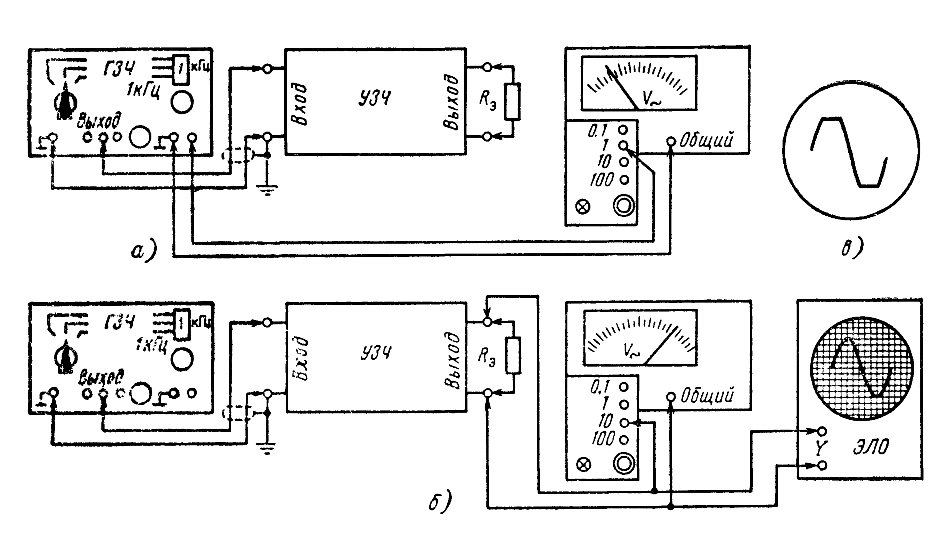


Рис. 103. Схемы соединения приборов лаборатории при снятии амплитудной и амплитудно-частотной характеристик:

а — измерение входного напряжения; б — измерение выходного напряжения; в — вид синусоидального напряжения при двустороннем ограничении

1000 Гц (1 кГц) от входного напряжения $U_{вх}$ при неизменной нагрузке $R_н = R_э$.

Схема соединения измерительных приборов с проверяемым усилителем ЗЧ (УЗЧ), амплитудную характеристику которого надо снять, изображена на рис. 103, а (цепи питания для простоты не показаны). Сигнал частотой 1000 Гц с выхода «1 : 10» генератора сигналов ЗЧ (ГЗЧ) подают на вход усилителя через экранированный двухпроводный кабель. Его оплетку и одну из жил заземляют на входе усилителя ЗЧ. Вольтметр подключают к гнездам «Контроль выхода» генератора и плавно увеличивают сигнал генератора до напряжения 0,3 В. При этом напряжение сигнала на входе усилителя ЗЧ составит примерно 30 мВ. Измерив входное напряжение $U_{вх}$, вольтметр переключают на предел измерения 10 В, подключают к эквиваленту нагрузки $R_э$ (рис. 103, б). и измеряют выходное напряжение усилителя $U_{вых}$. Результаты измерений записывают в таблицу, образец которой здесь показан (табл. 2).

Таблица 2

$U_{вх}$, мВ	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$U_{вых}$, В	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	3,8	4	**4,1**
$P_{вых}$, Вт	0,22	0,4	0,6	0,89	1,2	1,57	2	2,22	2,46	**2,6**

Предположим, при входном напряжении 30 мВ вольтметр, подключенный к эквиваленту нагрузки $R_э$, показывает напряжение 1,2 В. В таблицу записывают: $U_{вх}$=30 мВ, $U_{вых}$=1,2 В. Затем входное напряжение повышают ступенями через 10 мВ (40, 50, 60 мВ и т. д.), записывают результаты измерений в таблицу и наблюдают за кривой на экране осциллографа. Входное напряжение увеличивают до тех пор, пока не нарушится пропорциональность прироста выходного напряжения $U_{вых}$. При этом на экране должно появиться заметное на глаз срезание «верхушек» синусоиды (рис. 103, в). Такое явление происходит из-за симметричного ограничения выходного сигнала и сопровождается ростом коэффициента гармоник примерно до 10%. Затем входной сигнал уменьшают до исчезновения заметных искажений синусоиды (рис. 103, б) и считают, что теперь усилитель ЗЧ отдает в нагрузку номинальную выходную мощность $P_{ном}$. Выходные напряжения, соответствующие мощности $P_{ном}$ и P_{max} при коэффициенте гармоник 10% (например, 3,6 и 4,1 В), в таблице следует выделить.

По результатам измерений, записанным в таблицу, строят амплитудную характеристику усилителя ЗЧ (рис. 104). Для этого на горизонтальной оси вправо от нуля отмечают входные напряжения $U_{вх}$ в милливольтах, а на вертикальной оси вверх — выходные напряжения $U_{вых}$ в вольтах. Все измеренные значения $U_{вых}$ при соответствующих значениях $U_{вх}$ отмечают на графике жирными точками или крестиками и проводят через них плавную кривую. Эта линия до точки а прямолинейна, а затем заметно отклоняется вниз, что указывает на нарушение пропорциональности между $U_{вых}$ и $U_{вх}$ и появление искажений. Зная напряжение $U_{вых}$ и сопротивление эквивалента нагрузки $R_э$, можно подсчитать выходную мощность $P_{вых}$ усилителя ЗЧ для различных значений $U_{вых}$ по фор-

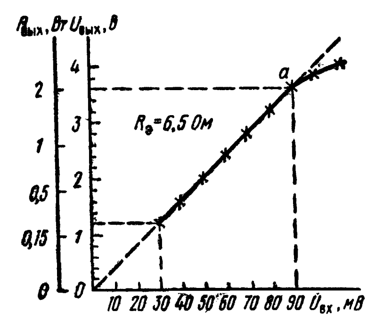


Рис. 104. Амплитудная характеристика усилителя ЗЧ

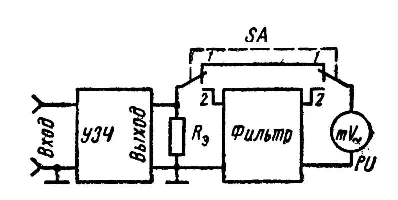


Рис. 105. Схема измерения коэффициента гармоник с помощью заградительного фильтра

муле $P_{вых}=U^2_{вых}/R_э$. Например, при $R_н=R_э=6,5$ Ом и $U_{вых}=1$ В мощность $P_{вых}=0,15$ Вт, при $U_{вых}=1,8$ В $P_{вых}=0,5$ Вт и т. д. На рис. 104 параллельно оси $U_{вых}$ проведена вторая вертикальная ось, на которой отмечены расчетные значения выходной мощности $P_{вых}$.

Перегиб амплитудной характеристики обычно соответствует номинальной мощности $P_{ном}$ усилителя ЗЧ, в нашем примере $P_{ном}=2$ Вт, $P_{max}=2,5$ Вт. Если перегиб характеристики не явно выражен, его уточняют по осциллографу повторными измерениями. Затем берут среднеарифметическое значение $U_{вых}$, при котором искажения синусоиды на экране осциллографа становятся неразличимыми на глаз.

Численное значение коэффициента гармоник $K_г$ можно измерить с помощью заграждающего фильтра, настроенного на основную частоту 1000 Гц. Включают его между выходом усилителя ЗЧ и вольтметром (рис. 105). Сначала измеряют напряжение $U_{вых}$, установив переключатель SA в положение 1. Предположим, оно равно 3,6 В (3600 мВ). Затем включают фильтр, переведя переключатель SA в положение 2, и измеряют напряжение гармоник. Допустим, оно равно 72 мВ. После этого рассчитывают коэффициент гармоник по ранее приведенной приближенной формуле $K_г \approx (U_г/U_{вых}) \cdot 100\% \approx (72/3600)100 \approx 2\%$.

По амплитудной характеристике (см. рис. 104) легко определить номинальное входное напряжение усилителя ЗЧ. В нашем примере номинальная выходная мощность равна 2 Вт, поэтому номинальное входное напряжение усилителя — 90 мВ.

АЧХ усилителей ЗЧ нередко снимают при входном напряжении, значительно меньшем номинального. Это предотвращает возможную перегрузку усилителя. Например, АЧХ усилителей воспроизведения аппаратуры магнитной записи звука снимают при уровне сигнала, на 20 дБ (в 10 раз) меньшем номинального уровня.

Схема соединения приборов с усилителем ЗЧ для снятия АЧХ — та же, что и при снятии амплитудной характеристики (см. рис. 103). Если усилитель не имеет регуляторов тембра и оснащен только обычным (нетонкомпенсированным) регулятором громкости, то последний устанавливают на максимальную громкость и в процессе снятия АЧХ его положения не изменяют. Если же регулятор громкости тонкомпенсированный, АЧХ снимают при крайних и нескольких промежуточных (по желанию конструктора) положениях регулятора.

Исходная частота при снятии АЧХ — та же, 1000 Гц. Установив переключатель генератора сигналов в это положение, ручкой «Амплитуда» доводят входное напряжение усилителя до 20 мВ и в дальнейшем поддерживают его на этом уровне на всех частотах. (Такое напряжение, почти в 5 раз меньшее номинального, выбрано для удобства отсчета результатов измерений по шкале стрелочного прибора авометра.) Затем, переключив вольтметр на выход усилителя, измеряют напряжение на эквиваленте нагрузки $R_э$. Результаты измерений записывают в таблицу (табл. 3), в две графы: в первую — частоты f входного сигнала, во вторую — выходные напряжения $U_{вых}$. Записав результат измерения на частоте 1000 Гц, генератор сигналов ЗЧ переключают на частоту 500 Гц. Проверяют вольтметром входное напряжение и затем возможно точнее измеряют выходное напряжение усилителя на эквиваленте нагрузки $R_э$. Далее точно так же измеряют выходное напряжение на частотах 250, 150, 100, 75 и 50 Гц (усилители ЗЧ, подобные рассматриваемому в данном примере, на частоте 25 Гц обычно не проверяют). После этого повторно измеряют выходное напряжение на частоте 1000 Гц, проверяя тем самым стабильность работы и самого усилителя ЗЧ, и измерительных приборов.

Таблица 3

Частота, Гц	$U_{вых}$, мВ	U_f/U_{1000}	U_f/U_{1000}, дБ	Частота, Гц	$U_{вых}$, мВ	U_f/U_{1000}	U_f/U_{1000}, дБ
50	300	0,5	—6	1 000	600	1	0
75	420	0,7	—3	2 500	600	1	0
100	480	0,8	—2	5 000	570	0,95	—0,5
150	540	0,9	—1	7 500	540	0,9	—1
250	570	0,95	—0,5	10 000	480	0,8	—2
500	600	1	0	15 000	300	0,5	—6

Далее измерения проводят на частотах выше 1000 Гц, подавая на вход усилителя ЗЧ сигналы частотой 2500, 5000, 7500, 10 000 и 15 000 Гц (на частоте 20 000 Гц контролируют только высококачественные усилители). По результатам

Таблица 4

$U_{вых}/U_{вх}$	дБ	$U_{вых}/U_{вх}$	дБ	$U_{вых}/U_{вх}$	дБ	$U_{вых}/U_{вх}$	дБ
1000	+60	4,0	+12	0,89	—1	0,20	—14
316	+50	3,5	+11	0,79	—2	0,18	—15
100	+40	3,2	+10	0,71	—3	0,16	—16
31,6	+30	2,8	+9	0,63	—4	0,14	—17
20,0	+26	2,5	+8	0,56	—5	0,126	—18
10,0	+20	2,2	+7	0,50	—6	0,112	—19
8,9	+19	2,0	+6	0,45	—7	0,100	—20
7,9	+18	1,8	+5	0,40	—8	0,050	—26
7,1	+17	1,6	+4	0,35	—9	0,03	—30
6,3	+16	1,41	+3	0,32	—10	0,01	—40
5,6	+15	1,26	+2	0,28	—11	0,003	—50
5,0	+14	1,12	+1	0,25	—12	0,001	—60
4,5	+13	1,00	0	0,22	—13	0,0003	—70

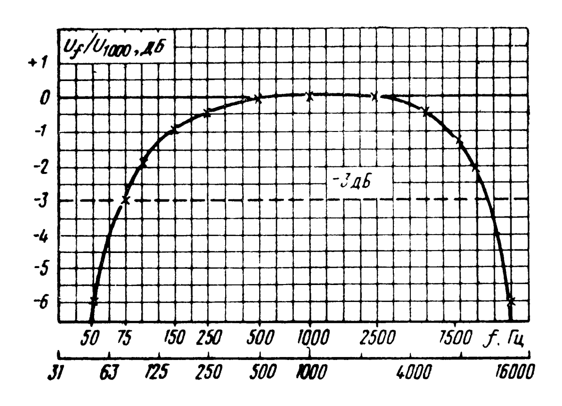


Рис. 106. АЧХ усилителя ЗЧ

измерений рассчитывают отношения выходных напряжений разных частот U_f к напряжению контрольной частоты U_{1000}. Полученные отношения записывают в соответствующую графу таблицы.

Например, на частотах 50 (U_{50}) и 15 000 Гц ($U_{15\,000}$) выходное напряжение $U_{вых}=300$ мВ. Следовательно, отношение $U_{50}/U_{1000} = U_{15\,000}/U_{1000} = 300/600 = 0{,}5$. На частотах 100 и 10 000 Гц имеем отношение 480/600=0,8, а на частотах 150 и 7500 Гц — 540/600=0,9. Пользуясь вспомогательной таблицей (табл. 4), эти отношения пересчитывают в децибелы (отношение в децибелах равно $20 \lg U_f/U_{1000}$) и результаты вписывают в четвертую графу табл. 3.

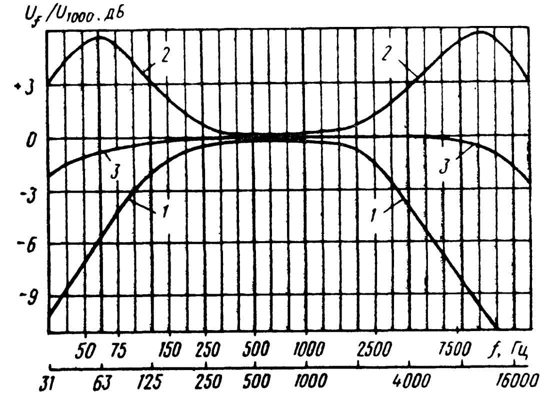
Далее вычерчивают АЧХ (рис. 106). Обычно для этой цели используют специальную масштабно-координатную бумагу с логарифмической сеткой, однако можно воспользоваться и обычной «миллиметровкой» или даже любой бумагой в клетку. Сначала на горизонтальную ось наносят отметки, соответствующие указанным значениям частот (в логарифмическом масштабе). На рис. 106 верхний ряд чисел соответствует фиксированным частотам генератора сигналов ЗЧ лаборатории, а нижний — частотам, рекомендуемым при снятии АЧХ с помощью промышленной измерительной аппаратуры.

Затем на вертикальной оси, предварительно сделав на ней 8—10 равноотстоящих одна от другой отметок, наносят отношения U_f/U_{1000} в децибелах. В нашем примере спад АЧХ не превышает 6 дБ, поэтому нулевую линию проводят на уровне седьмой отметки, а напротив расположенных ниже остальных шести отметок делают надписи —1, −2, ..., −6 дБ. Проводят также линию через отметку контрольной частоты 1000 Гц. Далее, пользуясь данными табл. 3, последовательно наносят точки или крестики, соответствующие значениям выходного напряжения на частотах от 50 до 15 000 Гц. Плавная линия, проведенная через эти метки, и есть АЧХ исследуемого усилителя ЗЧ. Горизонтальная линия, проведенная на уровне —3 дБ, соответствующем общепринятому допуску на неравномерность АЧХ в рабочем диапазоне, пересекает АЧХ на частотах 75 и 11 000 Гц. Следовательно, рабочий диапазон частот усилителя простирается от 75 до 11 000 Гц.

Многие усилители ЗЧ кроме регулятора громкости оснащены еще двумя (реже — тремя и более) регуляторами тембра — по низшим и высшим звуковым частотам. АЧХ таких усилителей снимают не менее трех раз, причем при входном напряжении, пониженном примерно на 20 дБ (в 10 раз) по сравнению с номинальным (во избежание перегрузки при подъеме усиления на краях рабочего диапазона). Сначала оба регулятора тембра такого усилителя ЗЧ устанавливают в положения, соответствующие спаду АЧХ на краях диапазона. Полученная АЧХ может иметь вид кривой 1 (рис. 107). Затем оба регулятора тембра переводят в другие крайние положения (подъем АЧХ на краях диапа-

Рис. 107. АЧХ усилителя ЗЧ с раздельным регулированием тембра по низшим и высшим звуковым частотам:

1 — регуляторы тембра в положениях, соответствующих наибольшему спаду АЧХ на краях рабочего диапазона: 2 — в положениях, соответствующих наибольшему подъему АЧХ; 3 — регуляторы тембра в средних положениях



зона). АЧХ усилителя в этом случае может иметь вид кривой 2. После этого регуляторы тембра устанавливают в средние положения и снимают АЧХ еще раз. Если она близка к кривой 3, то на этом измерения заканчивают, а если значительно отличается от нее, то путем проб находят такие положения регуляторов тембра, при которых АЧХ получается наиболее ровной и параллельной оси частот в возможно более широкой полосе, и на ручках регуляторов делают соответствующие отметки.

Из графиков на рис. 107 ясно видно, что у данного усилителя ЗЧ пределы регулирования тембра на низшей частоте 63 Гц составляют +6 ... −6 дБ, а на высшей, равной 11 000 Гц,— примерно +6 ... —10 дБ. Так с помощью простых приборов лаборатории, пользуясь изложенной методикой, можно с достаточной для радиолюбителя точностью измерить основные параметры практически любого усилителя ЗЧ.

Настройка радиочастотного тракта приемника прямого усиления

Предположим, что радиочастотный тракт приемника, включая детекторный каскад, собран по схеме, изображенной на рис. 108. Его входной настраиваемый контур образован катушкой индуктивности L1 магнитной антенны WA1 и конденсаторами C1 и C2. Модулированный РЧ сигнал радиостанции, на частоту которого настроен контур, через катушку связи L2 и разделительный конденсатор C3 поступает на базу транзистора VT1 первого каскада усилителя РЧ. В коллекторную цепь этого транзистора включен согласующий высокочастотный трансформатор, образованный катушками L3 и L4, намотанными на общем магнитопроводе. Через этот трансформатор сигнал, усиленный первым каскадом, попадает на базу транзистора VT2 второго каскада усилителя РЧ. Усиленный им сигнал снимается с коллектора транзистора и через конденсатор C7 подается на вход детектора, выполненного по схеме удвоения на диодах VD1 и VD2. С движка переменного резистора R8, выполняющего функции нагрузки детектора и регулятора громкости, колебания звуковой частоты (ЗЧ) поступают на вход усилителя ЗЧ (на схеме — УЗЧ).

Предположим, что усилитель ЗЧ работает нормально, монтаж входной цепи, усилителя РЧ и детекторного каскада проверен, режимы работы тран-

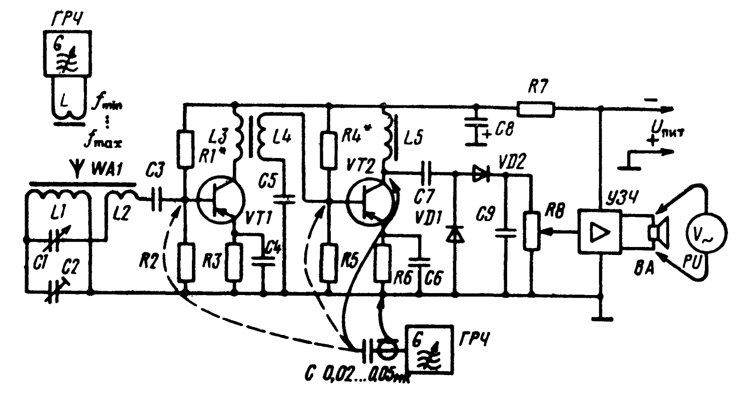


Рис. 108. Последовательность налаживания РЧ тракта приемника прямого усиления

зисторов по постоянному току соответствуют рекомендуемым. Можно, следовательно, приступить к настройке всего РЧ тракта приемника. В качестве индикатора настройки (индикатора выхода) можно использовать авометр в режиме измерения переменного напряжения (на схеме — PU), подключенный непосредственно к звуковой катушке головки громкоговорителя BA.

Прежде всего рекомендуется проверить, не самовозбуждается ли РЧ тракт. Для этого, включив питание, устанавливают движок переменного резистора R8 в положение максимальной громкости, а катушку L1 магнитной антенны временно замыкают накоротко. Если РЧ тракт не самовозбуждается, стрелка индикатора выхода останется на нулевой отметке шкалы. Если же она беспорядочно колеблется, особенно при поднесении руки к транзисторам, а из головки громкоговорителя слышатся свисты, то это означает, что РЧ тракт приемника самовозбуждается. Самовозбуждение устраняют изменением включения катушек связи L2 и L4, отдалением от магнитной антенны высокочастотных трансформатора L3L4 и дросселя L5, экранированием их, а если надо, то и изменением режимов работы транзисторов.

После этого проверяют работу детектора. Для этого генератор сигналов РЧ (на рис. 108 — ГРЧ) настраивают на любую из частот, перекрываемых входным контуром приемника. Сигнал генератора РЧ модулируют колебаниями частотой 1 кГц генератора сигналов ЗЧ и через выходное гнездо 1 : 1 и конденсатор емкостью 0,02...0,05 мкФ подают на коллектор транзистора VT2. Движок переменного резистора R8 при этом устанавливают в положение максимальной громкости. Если детекторный каскад исправен, в головке громкоговорителя BA должен хорошо прослушиваться модулирующий сигнал генератора ЗЧ, а стрелка индикатора выхода должна отклониться от нулевой отметки шкалы. При изменении выходного напряжения генератора сигналов РЧ громкость звука и угол отклонения стрелки индикатора выхода должны соответствующим образом изменяться.

Затем тот же модулированный сигнал, но снимаемый с выходного гнезда 1 : 10 генератора РЧ, подают (через тот же конденсатор) на базу транзистора VT2 и таким образом проверяют прохождение его через второй каскад усилителя РЧ. В этом случае в головке громкоговорителя также должен быть слышен

модулирующий сигнал генератора ЗЧ, а стрелка индикатора должна отклониться от нулевой отметки.

Чтобы проверить оба усилительных каскада РЧ тракта приемника, модулированные колебания генератора сигналов РЧ подают (также через конденсатор) на базу транзистора VT1. Но теперь соединительный кабель включают в его выходное гнездо 1 : 100, так как чувствительность приемника с базы транзистора VT1 намного выше, чем с базы транзистора VT2. При постепенном увеличении выходного напряжения генератора сигналов РЧ так же плавно должны нарастать звук в головке громкоговорителя и увеличиваться показания индикатора выхода.

Усилитель РЧ приемника должен пропускать всю полосу частот, на которую рассчитан его входной контур, от минимальной f_{min} до максимальной f_{max}. Если приемник рассчитан на прием передач радиовещательных станций в диапазоне средних волн (СВ), то частота f_{min} должна быть равна 525 кГц, а f_{max}— 1600 кГц. Судить о полосе частот усилителя РЧ можно, сняв его АЧХ. для чего конденсатор С3 временно отключают от базы транзистора VT1. Чтобы исключить влияние входной цепи на АЧХ усилителя РЧ, генератор сигналов РЧ настраивают на частоту f_{min} приемника, а напряжение сигнала подбирают таким, чтобы стрелка индикатора выхода установилась примерно в середине шкалы. Если усилитель ЗЧ приемника маломощный и напряжение ЗЧ на звуковой катушке головки громкоговорителя ВА столь мало, что его трудно измерить вольтметром авометра, в качества индикатора выхода используют транзисторный вольтметр переменного тока. Затем, не изменяя уровень сигнала, постепенно увеличивают его частоту и через каждые 50...100 кГц записывают значение напряжения, показываемое индикатором выхода. Эти измерения продолжают до частоты f_{max} приемника. По результатам измерений строят АЧХ усилителя РЧ (рис. 109). Для этого на горизонтальной оси откладывают в некотором масштабе значения частот от f_{min} до f_{max}, а на вертикальной — показания индикатора выхода $U_{вых}$ и соединяют получившиеся в местах пересечений точки плавной линией. В идеальном случае эта линия должна быть прямой, параллельной горизонтальной оси, что означает одинаковое усиление сигналов всех частот.

Однако обычно с увеличением частоты сигнала ухудшаются усилительные свойства транзисторов, изменяются параметры колебательных контуров и т. д. Поэтому некоторая неравномерность АЧХ РЧ тракта будет всегда, но если она невелика, это практически мало скажется на качестве работы приемника. Если же АЧХ очень неравномерна, чувствительность приемника в различных участках диапазона будет существенно неодинаковой. В таких случаях принимают соответствующие меры, улучшающие АЧХ усилителя РЧ.

Следующий этап настройки тракта РЧ приемника —«укладка» частот входного контура в заданные границы. Связь генератора сигналов РЧ с магнитной антенной приемника в этом случае должна быть слабой. Для этого на отрезок круглого или плоского ферритового стержня наматывают 15...20 витков провода марки ПЭВ-1 или ПЭЛШО диаметром 0,1...0,15 мм и получившуюся катушку индуктивности L подключают к

Рис. 109. АЧХ РЧ тракта приемника прямого усиления

выходу генератора РЧ (см. рис. 108). Ферритовый стержень, на котором намотана катушка L„, располагают параллельно стержню магнитной антенны приемника.

Сначала генератор сигналов РЧ настраивают на частоту f_{min} диапазона приемника, ротор конденсатора переменной емкости (КПЕ) C1 устанавливают в положение максимальной емкости, а подстроечного конденсатора C2 — в положение средней емкости. Перемещая катушку L1 по ферритовому стержню магнитной антенны, настраивают входной контур приемника на частоту колебаний генератора РЧ. Точность настройки определяют по максимальному показанию индикатора выхода. Затем генератор РЧ перестраивают на максимальную частоту диапазона f_{max}, а ротор КПЕ C1 устанавливают в положение минимальной емкости. Теперь входной контур L1C1C2 настраивают на частоту генератора подстроечным конденсатором C2, также добиваясь максимального показания индикатора выхода.

Чтобы снять АЧХ всего тракта РЧ приемника, частоту сигнала генератора РЧ постепенно увеличивают, начиная со значения f_{min} (не изменяя уровня), и через каждые 50...100 кГц записывают показания индикатора выхода. По результатам измерений строят АЧХ. Она должна быть примерно такой, как показанная на рис. 109.

Настройка радиочастотного тракта супергетеродинного приемника

Принципиальная схема возможного варианта РЧ тракта однодиапазонного любительского супергетеродина изображена на рис. 110. Каскады, собранные на транзисторах VT1 и VT2, образуют преобразователь частоты с отдельным гетеродином. Контуры L5C5, L6C7 и L8C16 настроены на промежуточную частоту (ПЧ) 465 кГц. Сигнал ПЧ, усиленный каскадом на транзисторе VT3, через катушку связи L9 поступает на детектор, выполненный на диоде VD1. С нагрузки детектора — переменного резистора R11 — сигнал ЗЧ через конденсатор C19 подается на вход усилителя ЗЧ (на схеме — УЗЧ).

Через гнездо XS1 и конденсатор C1 к входному контуру L1C2C3 может быть подключена внешняя антенна, улучшающая прием передач отдаленных радиостанций.

Индикатором выхода, как и в предыдущем случае, может служить авометр, переключенный на измерение переменных напряжений, или транзисторный вольтметр переменного тока, подключенный к звуковой катушке головки громкоговорителя BA.

Детектор супергетеродинного приемника проверяют так же, как аналогичный каскад приемника прямого усиления, только частоту модулированных колебаний генератора сигналов РЧ берут равной 465 кГц.

После детектора проверяют и настраивают усилитель ПЧ, выполненный на транзисторе VT3. Гетеродин на транзисторе VT2 на это время отключают от источника питания. Если усилитель ПЧ не самовозбуждается, то даже при поднесении металлической отвертки к его деталям стрелка индикатора выхода не должна заметно отклоняться от нулевой отметки шкалы.

После такой проверки усилителя ПЧ модулированный сигнал частотой 465 кГц подают через конденсатор емкостью 510...1000 пФ на базу транзистора VT3, предварительно отпаяв от ее вывода конденсатор C15. Подстроечником ка-

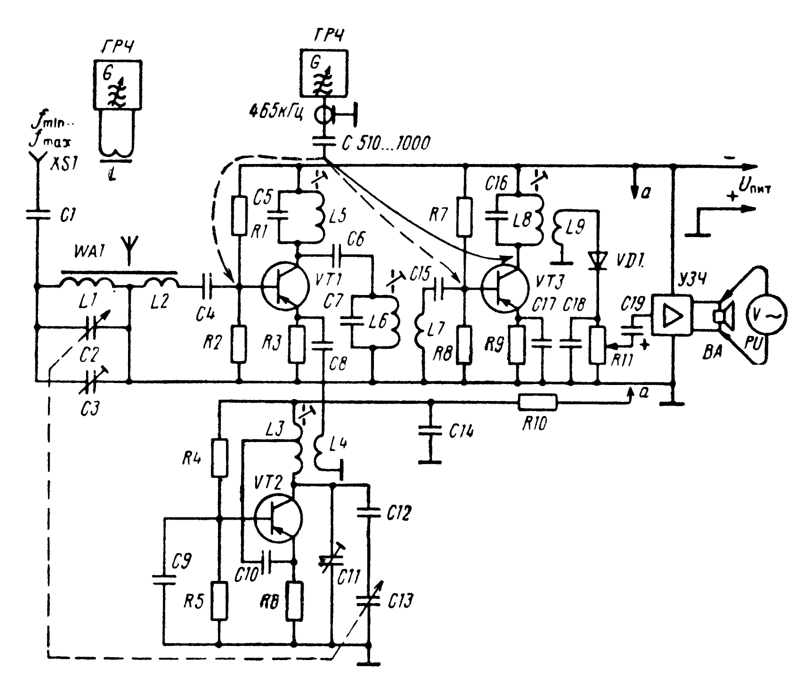


Рис. 110. Последовательность налаживания РЧ тракта супергетеродина с отдельным гетеродином

тушки L8 настраивают контур L8C16 на эту частоту, добиваясь наибольшего отклонения стрелки индикатора выхода.

Затем этот же сигнал подают на базу транзистора VT1, предварительно отпаяв от нее конденсатор C4 и восстановив соединение конденсатора C15 с базой транзистора VT3. Подстроечниками катушек L5 и L6 настраивают контуры ПЧ, добиваясь наибольшей громкости и максимального показания индикатора выхода. Первым настраивают контур L6C7, вторым — контур L5C5. После этого, несколько ослабив сигнал, еще раз, начиная с контура L8C16, настраивают все контуры ПЧ точно на частоту 465 кГц.

Далее переходят к «укладке» частот входного контура в заданные границы. Для этого в коллекторную цепь транзистора VT1 вместо контура L5C5 включают резистор сопротивлением 4...5 кОм, а коллектор транзистора через конденсатор емкостью 100...200 пФ соединяют непосредственно с детектором, предварительно отключив от него катушку связи L9. Супергетеродин в таком случае превращается в приемник прямого усиления с каскадом усиления РЧ на транзисторе VT1. Напряжение питания на транзистор VT2 гетеродина пока не подают.

Входной контур L1C2C3 настраивают на заданный диапазон частот так же, как и в приемнике прямого усиления. Затем восстанавливают тракт ПЧ и подают питание на гетеродин. Модулированный сигнал генератора РЧ, настроенного на частоту f_{min} диапазона, подают на вход приемника через катушку L. Приемник настраивают на сигнал этой частоты при наибольшей емкости блока КПЕ C2C13, изменяя подстроечником индуктивность катушки L3 гетеродинного

контура. При точной настройке громкость звука в головке громкоговорителя и показание индикатора на выходе приемника будут наибольшими. Далее сопрягают настройки входного и гетеродинного контуров на высокочастотном конце диапазона. Для этого генератор сигналов РЧ перестраивают на частоту f_{max} диапазона, ротор блока КПЕ С2С13 устанавливают в положение минимальной емкости и подбором емкости входящего в гетеродинный контур подстроечного конденсатора С11 добиваются максимального отклонения стрелки индикатора выхода.

Следует учесть, что изменение емкости подстроечного конденсатора С11 влияет и на настройку приемника на низкочастотном конце диапазона. Поэтому после подбора емкости этого конденсатора надо повторить сопряжение настроек контуров на низкочастотном конце диапазона, а затем снова подстроить контуры на высокочастотном конце. И так несколько раз, пока настройки входного и гетеродинного контуров не будут сопряжены на обоих концах диапазона.

Точно так же, пользуясь приборами лаборатории, настраивают РЧ тракты супергетеродинных приемников с однотранзисторными преобразователями частоты.

О других видах радиотехнических измерений можно узнать, прочитав литературу, список которой приведен в конце книги.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ

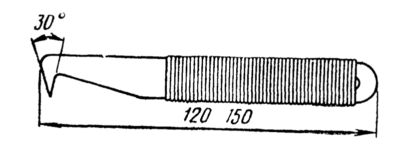
Корпус измерительного прибора. Все измерительные приборы, описанные в этой книге, смонтированы в корпусах, изготовленных из листового алюминиевого сплава марки АМц-П толщиной 1; 1,5 и 2 мм. Этот материал отличается достаточно высокой прочностью, хорошей пластичностью и хорошо обрабатывается резанием. Вместо него, конечно, можно использовать другие металлы и сплавы, например сплавы АМц-М, АМг, латунь Л62 и даже сталь марок 3, 10кп и других той же толщины. Неплохо выглядит корпус, изготовленный из пластин одностороннего фольгированного гетинакса или стеклотекстолита, спаянных между собой с внутренней стороны (фольгированные стороны пластин должны образовать внутреннюю поверхность корпуса).

Если металлический лист имеет неровности, то, прежде чем вырезать заготовки деталей корпуса, его необходимо тщательно выправить. Делать это рекомендуется ударами молотка через пластину из гетинакса или текстолита толщиной 8...10 мм на ровной и чистой стальной плите. Ни в коем случае нельзя ударять молотком непосредственно по выправляемому листу, так как металл в местах удара немного утоньшается и вытягивается, образуя впадину, устранить которую не удастся никакими способами.

Заготовки деталей вырезают обычно ножницами по металлу, однако при этом края заготовок неизбежно деформируются и их вновь придется править. Если металл или сплав достаточно мягок (алюминиевые сплавы, названные выше), то более приемлем, хотя и несколько более трудоемок, способ вырезания заготовок с помощью специального резака (рис. 111), изготовленного из старого ножовочного полотна. Такие резаки обычно используют для резки листовых пластмасс, поэтому он еще пригодится при изготовлении накладок, изоляционных планок, монтажных плат и других деталей приборов.

Сначала металлический лист с каждой стороны надрезают по стальной разметочной линейке на глубину, равную примерно одной трети его толщины. За-

Рис. 111. Резак из ножовочного полотна



тем, осторожно отгибая лист на угол 30...40° в обе стороны, отламывают полосу нужной ширины. Опилив кромку излома напильником, точно так же отрезают от полосы пластину нужной длины. Эту длину нужно брать на 5...10 мм больше расчетной.

Если расчетная длина заготовки несущей части корпуса авометра (см. рис. 23) равна 64+126+64=254 мм, то длину заготовки следует взять равной 260...265 мм. Лучше отрезать лишний материал после гибки, чем получить одну из полок детали меньшей, чем нужно, длины.

Наиболее ответственная операция изготовления деталей корпуса — это гибка. От того, насколько хорошо она выполнена, зависит и стыковка деталей корпуса, и его внешний вид.

Сгибать металлический лист необходимо поперек направления проката, которое хорошо видно по характерным рискам или полосам на поверхности металла. Это следует учитывать и при вырезании заготовок из листа. Место изгиба намечают стальной чертилкой (отрезок стальной проволоки диаметром 2...3 мм с остро заточенным концом) или штопальной иглой по стальной линейке. Для облегчения гибки и получения минимального наружного радиуса изгиба рекомендуется надрезать лист по линии гибки тем же резаком с одной стороны на глубину, примерно равную одной трети его толщины. В результате ослабления сечения металл будет гнуться только в этом месте и прилегающие к месту изгиба участки металла не будут деформированы.

Для гибки заготовку зажимают в тисках между двумя стальными полосами или угольниками (рис. 112, а). Если ширина заготовки больше ширины губок тисков, то полосы или угольники необходимо дополнительно стянуть (в непосредственной близости от заготовки) струбцинками или винтами с гайками. В последнем случае в угольниках необходимо просверлить ряд отверстий соответствующего диаметра с шагом 10...15 мм, чтобы можно было закреплять заготовки разной ширины.

Несколько ослабив сжатие тисков, заготовку устанавливают так, чтобы нижняя кромка надреза совместилась с верхней плоскостью угольников или полос. Сжав тиски, заготовку вначале гнут в сторону надреза вручную, пользуясь куском доски или толстой фанеры (рис. 112, б). После того как заготовка согнута примерно на половину нужного угла, приступают к окончательной об-

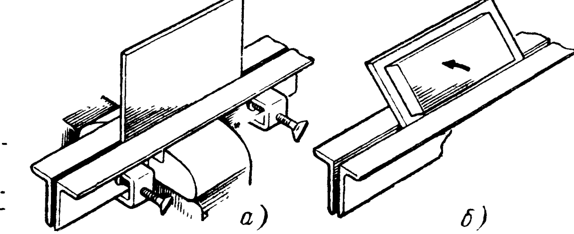


Рис. 112. Гибка металлического листа:
а — закрепление заготовки между угольниками в тисках; б — начало гибки

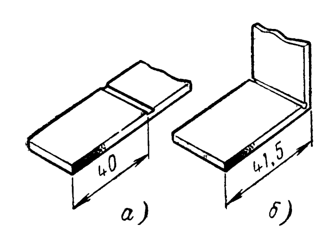


Рис. 113. Определение поправки к размерам при гибке

работке места изгиба. На заготовку в этом месте кладут пластину из гетинакса или текстолита (ту же, что использовалась при правке и, ударяя по ней молотком, придают детали нужную форму. И в этом случае следует избегать ударов молотка непосредственно по металлу, так как иначе внешний вид детали будет испорчен. Необходимо также помнить, что поверхности полос, угольников и пластины, через которую наносятся удары, должны быть очищены от опилок и грязи, иначе все неровности и шероховатости, имеющиеся на них, перейдут на металлический лист.

Чтобы размеры деталей корпуса после гибки получились в точности равными тем, которые указаны на чертежах, поступают следующим образом. Берут полосу шириной 20...30 мм из того же материала и параллельно одной из ее узких сторон на расстоянии, например, 40 мм от нее чертилкой проводят линию. По этой линии делают надрез с таким расчетом, чтобы сама линия стала кромкой надреза (рис. 113, а). Затем полосу сгибают на нужный угол и измеряют расстояние от ее базового конца до внешней стороны отогнутой части (рис. 113, б). Предположим, что это расстояние оказалось равным 41,5 мм. Тогда разницу в размерах, равную 1,5 мм (41,5—40), и следует учитывать при разметке и гибке заготовок из материала такой толщины. Так, чтобы получить внешний размер, равный 130 мм, линию гибки необходимо размечать на расстоянии 128,5 мм от базовой кромки заготовки.

При изготовлении корпусов, состоящих из двух П-образных деталей, первой рекомендуется делать несущую деталь, т. е. ту, на которой крепят все детали прибора. Ширину заготовки другой детали — крышки определяют по фактически получившимся внутренним размерам несущей части.

После гибки и обработки кромок переднюю стенку несущей части корпуса размечают в соответствии с чертежом. Предварительно всю разметку вычерчивают на листе масштабно-координатной бумаги («миллиметровки»). Затем этот лист приклеивают несколькими каплями резинового клея на переднюю стенку и с помощью кернера или острого шила (если материал достаточно мягок) переносят на металл центры круглых отверстий и контуры отверстий иной формы. Резиновый клей хорош тем, что разметочный лист потом легко снять. Удалив лист, в намеченных центрах сверлят технологические отверстия диаметром 1,3...1,5 мм и зенкуют их с обеих сторон на глубину 0,2...0,3 мм сверлом диаметром 2,5...3 мм, заточенным под углом 90°. После этого с внутренней стороны передней стенки корпуса небольшими струбцинками закрепляют прозрачную накладку из органического стекла, которая будет защищать от повреждения надписи, поясняющие назначение органов управления прибором. Чтобы не повредить поверхность накладки, ее желательно обернуть тонкой бумагой. Размеры накладки должны быть таковы, чтобы она свободно входила в корпус. Накладку вырезают тем же резаком. Следует только помнить, что некоторые марки органического стекла очень хрупки, поэтому надрезать такой материал надо обязательно с обеих сторон и на глубину не менее трети его толщины. Чтобы отломить нужный кусок материала, лист кладут на край ровного стола так, чтобы надрез совпал с кромкой стола. Лежащую на столе часть листа прижимают куском ровной доски или толстой фанеры, а другой такой же ку-

сок кладут на свисающую часть листа и быстро надавливают на него, стремясь к тому, чтобы усилие было приложено в середине надреза.

Закрепив накладку на передней стенке корпуса, в ней сверлят необходимые отверстия (см. рисунки внешнего вида приборов). Для направления сверла используют отверстия в самой передней стенке. Сверлят отверстия тем же сверлом, что и раньше. После этого накладку снимают и дальнейшую обработку корпуса и накладки ведут раздельно.

Отверстия прямоугольной формы вначале высверливают по контуру сверлом диаметром 2,5...3 мм с таким расчетом, чтобы расстояние между краями отверстий не превышало 0,3,..0,5 мм. Затем удаляемую часть материала вырубают острым зубилом (в пластмассе выпиливают лобзиком по металлу), после чего опиливают напильниками до получения нужной формы и размеров. Круглые отверстия в корпусе и накладке рассверливают до нужного размера и зенкуют сверлами вдвое большего диаметра, заточенными под углом 90°. Глубину зенковки под заклепки и винты с потайной головкой подбирают такой, чтобы головки полностью утапливались в материал и не выступали над его поверхностью. Отверстия диаметром больше 6...8 мм рекомендуется распиливать до нужного размера круглыми и полукруглыми напильниками, проверяя время от времени совпадение отверстий в обеих деталях (корпусе и накладке).

Для крепления крышки в авометре, измерителе RCL, блоке питания и генераторах сигналов ЗЧ и РЧ с внутренней стороны несущей части корпуса приклепывают уголки из листового сплава АМц-П толщиной 1,5...2 мм или вырезанные из дюралюминиевого уголкового профиля размерами 10×10 мм. Заклепки, крепящие уголки к корпусу, должны быть из того же материала, что и соединяемые детали. Если же материал заклепок окажется более твердым, чем детали, то получить хорошее соединение будет трудно, так как при клепке быстрее будет деформироваться материал деталей, что ухудшит их внешний вид. Уголки приклепывают с таким расчетом, чтобы крышка устанавливалась заподлицо с кромками несущей части корпуса.

Отверстия в уголках под винты крепления крышки следует сверлить сразу в обеих деталях. Для этого крышку устанавливают на место, обматывают собранный таким образом корпус прочными нитками или шпагатом, а затем по разметке на крышке сверлят отверстия в ней и угольниках сверлом, диаметр которого равен внутреннему диаметру резьбы крепящих винтов. При резьбе М2 диаметр сверла должен быть равен 1,5...1,6 мм, при резьбе М3 — 2,4...2,5 мм и т. д. После этого детали корпуса разъединяют, отверстия в крышке рассверливают до диаметра, на 0,3...0,5 мм большего, чем диаметр винтов, в отверстиях уголков нарезают резьбу.

В деталях из мягких алюминиевых сплавов резьбу рекомендуется нарезать только первым метчиком (на нем одна кольцевая риска), смазывая его хозяйственным мылом, которое уменьшает трение и дает возможность получить чистую, без задиров, резьбу. Затем в каждое резьбовое отверстие поочередно ввинчивают (также с мылом) один из винтов, которыми будет крепиться крышка. Нарезанные таким способом отверстия будут служить достаточно долго.

В уголках, изготовленных из дюралюминия, резьбу можно нарезать обоими метчиками (первым и вторым, отличительным знаком которого служит буква Е), но также с применением мыла в качестве технологической смазки.

Корпус прибора можно изготовить и из отдельных металлических пластин, соединив их одну с другой алюминиевыми уголками, подобными тем, которые

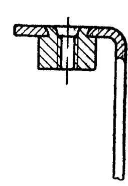


Рис. 114. Резьбовая втулка, развальцованная в полке несущей части корпуса прибора

использованы для крепления крышки. В этом случае все отверстия в передней стенке и прозрачной накладке удобнее вырезать до сборки.

В приборах, выполненных в виде приставок к авометру (испытатель транзисторов, вольтметры постоянного и переменного токов, частотомер), отверстия под винты крепления крышки также сверлят сразу в обеих деталях. Но, поскольку материалом корпусов этих приборов служит алюминиевый сплав толщиной всего 1 мм, резьба получается непрочной и быстро изнашивается. Для крепления крышки в этом случае удобно использовать специальные резьбовые втулки, развальцованные в отверстиях несущей части корпуса (рис. 114). Вместо них можно использовать небольшие (размерами 6×20 мм) стальные или дюралюминиевые (толщиной 1,5...2 мм) пластинки с резьбовыми отверстиями в центре или гайки, приклеив их с внутренней стороны клеем «Момент» или БФ-2.

Чтобы готовый корпус имел хороший внешний вид, его необходимо покрасить. Лучшей краской в любительских условиях является нитроэмаль в аэрозольной упаковке. Детали перед покраской тщательно обезжиривают бензином или ацетоном, затем подвешивают на проволоке так, чтобы легко было красить все поверхности. Вначале поверхности, подлежащие окраске, грунтуют, т. е. покрывают одним-двумя слоями специальной краски — грунта, также выпускаемого в аэрозольной упаковке. Если образовались подтеки грунта, то его излишки следует сразу же удалить марлевым тампоном, смоченным ацетоном, а когда грунт высохнет, вновь загрунтовать счищенное место.

Нитроэмаль необходимо наносить несколькими тонкими слоями, давая каждому из них хорошо просохнуть. Перед нанесением последнего слоя окрашенные поверхности шлифуют мелкозернистой наждачной бумагой с водой. После такой подготовки окрашенная последним слоем нитроэмали деталь будет иметь красивый законченный вид. Окрашивать детали рекомендуется на открытом воздухе в теплую солнечную погоду.

Красиво выглядят приборы, корпуса которых обклеены специальной поливинилхлоридной пленкой, имитирующей ценные породы древесины. В этом случае пленкой обклеивают только наружную поверхность несущей части и крышки, не затрагивая их кромок. Кромки лучше опилить личным напильником, а затем отшлифовать и отполировать до блеска пастой ГОИ, нанесенной на суконную тряпочку.

И, наконец, надписи, поясняющие назначение гнезд и органов управления прибором, наносят тушью или переводным шрифтом на полоски плотной бумаги разных цветов, склеенные встык с обратной стороны с помощью полоски тонкой бумаги или склеивающей ленты КЛТ. Контуры отверстий в этой детали переводят остро отточенным карандашом через отверстия в прозрачной накладке, защищающей надписи от повреждений. Затем отверстия вырезают скальпелем или острым ножом, положив склеенный бумажный лист с надписями на кусок гладкой доски или фанеры.

При наличии переводного шрифта надписи можно нанести и непосредственно на окрашенную (или неокрашенную, если после механической обработки

удастся сохранить материал неповрежденным) поверхность передней стенки несущей части корпуса. Для защиты надписей в этом случае можно использовать какой-либо бесцветный прозрачный лак, хорошо сцепляющийся с окрашенной поверхностью.

Монтажная плата. Платы приборов можно изготовить из гетинакса, текстолита, стеклотекстолита или органического стекла толщиной 1,5...2 мм. Надо только помнить, что органическое стекло при нагревании быстро размягчается, поэтому плату из него следует делать только в крайнем случае.

Разметку монтажной платы, как и передней стенки корпуса, вначале вычерчивают на «миллиметровке» или тетрадной бумаге в клетку. Размеченный лист приклеивают резиновым клеем к заготовке платы, острым шилом переносят на нее центры всех отверстий, затем высверливают их сверлами требуемого диаметра.

При сверлении отверстий в гетинаксе материал с обратной стороны (при выходе сверла) часто скалывается. Чтобы этого не случилось, вначале следует сверлить отверстия диаметром, примерно вдвое меньшим, чем это необходимо по чертежу. Затем их зенкуют с обеих сторон сверлом, заточенным под угол 90°, диаметром на 0,6...0,8 мм больше расчетного, и только после этого рассверливают до нужного диаметра. Такая последовательность обработки отверстий полностью предотвращает скалывание материала, а сами отверстия получаются точными и чистыми, так что никакой их дополнительной обработки не требуется.

В качестве опор для монтажа деталей на платах приборов применены отрезки медной луженой проволоки, запрессованные в соответствующие отверстия в платах. Чтобы стойки держались прочно, отверстия под них должны быть на 0,05...0,1 мм меньше их диаметра. Для запрессовки стоек удобно использовать специальную оправку (рис. 115, а), изготовленную из латунного или стального прутка диаметром 5...8 мм. Стойку вставляют в глухое отверстие в оправке и, направив конец стойки в отверстие, запрессовывают ее в плату легкими ударами молотка по верхнему концу оправки. Если необходимо, чтобы стойка выступала с обеих сторон платы, под нее подкладывают прокладку нужной толщины с отверстием диаметром 3...4 мм. В платы, изготовленные из органического стекла, стойки запрессовывают нагретым паяльником (рис. 115, б).

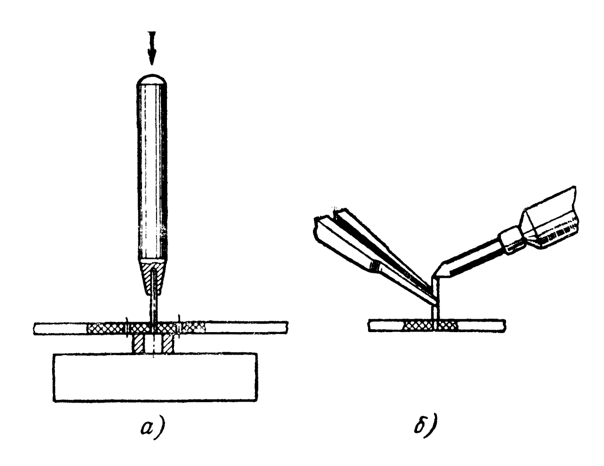


Рис. 115. Запрессовка проволочных стоек в плату из гетинакса или текстолита (а) и органического стекла (б)

Список литературы

Меерсон А. М. Радиоизмерительная техника.— Л.: Энергия, Ленингр. отд-е, 1978.—408 с.

Пилтакян А. М. Радиолюбительские приборы и измерения.— М.: Радио и связь, 1989.—96 с.

Соловов В. Я. Осциллографические измерения. Изд. 2-е, перераб. и доп.— М.: Энергия, 1975.—72 с.

Степанов Б. Г., Фролов В. В. Измерительный комплекс радиолюбителя.— М.: Радио и связь, 1982.—80 с.

Содержание



Измерительная лаборатория начинающего радиолюбителя

Издательство «Радио и связь»